



TERMISK KOMFORT OCH FÖRDELNING AV TILLUFT I SVINSTALLAR

- TEORI OCH VENTILATIONSFÖRSÖK

**DISTRIBUTION OF FRESH AIR AND THERMAL COMFORT
IN HOUSES FOR FATTENING PIGS**

- Theory and a case study

Anders Gustavsson

**Institutionen för lantbruksteknik
Avdelningen för byggnadsvetenskap**

**Rapport 217
Report**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering
Building Design Section**

**Uppsala 1996
ISSN 0283-0086
ISRN SLU-LT-R--217--SE**

FÖRORD

Kraven på klimatstyrning i djurstallar blir högre och högre allt eftersom produktionsmetoderna förfinas. Slaktsvinsproduktion under svenska klimatförhållanden med omgångsuppfödning skapar särskilt stora problem eftersom flödesförhållandena mellan sommar- och vinterventilationen är stora. Fördelningen av tilluft sker oftast med samma tilluftsdon under båda dessa ventilationsflöden och oavsett flöde skall djuren erbjudas termisk komfort.

Detta projekt har genomförts som ett examensarbete (20p) inom ramen för Agronomlinjen under sommaren och hösten 1996 på Institutionen för lantbruksteknik, avdelningen för byggnadsvetenskap i Uppsala. Initiativtagare till projektet är Sveaverken Agri AB som tagit fram en prototyp till ett nytt tilluftsdon för svinstallar. Arbetet omfattar en litteraturstudie om termisk komfort för svin och en jämförande studie mellan det nya tilluftsdonet och vanliga spaltdon i ett slaktsvinstall.

Under arbetets gång har många hjälpt till och stöttat. Ett särskilt stort tack till min handledare docent Krister Sällvik, LT-Bygg och Agr. D. Anders Ehrlemark från Sveaverken Agri AB som hjälpt mig mycket under arbetets gång samt opponent Gösta Gustavsson, statsagronom JBT, för deltagande vid redovisningen och granskningen av arbetet. Jag vill också tacka lantbrukare och försöksvärd Lars Lindström med familj (Norrby gård, Björklinge) för ett vänligt bemötande och stor gästfrihet, institutionssekreterare Örjan Bergwall för hjälp inför seminariet, Tina för stöd och korrekturläsning och mina bröder, Per för hjälp vid mätningarna och Mats för lån av dator. Sveaverken Agri AB har finansierat försöksdelen vilket jag är mycket tacksam för.

Uppsala november 1996

Anders Gustavsson

Krister Sällvik

INNEHÅLL

FÖRORD	2
SAMMANFATTNING	5
SUMMARY	7
TECKENFÖRKLARINGAR	9
INLEDNING	11
Avgränsning, syfte och mål	11
Hypotes	11
LITTERATURÖVERSIKT	12
Grundläggande om värmeöverföring	12
Strålning	12
Konvektion	13
Ledning	15
Evaporation	16
Värmereglering	16
Värmeproduktion och värmeavgivning	20
Fysiologisk värmereglering	21
Beteendemässig värmereglering	21
Termisk komfort	24
Stalltemperaturer	24
Lufthastighet	25
Luft rörelser	28
Anpassningstid och kompensatorisk tillväxt	29
Modeller över värmeavgivning	31
Värmebalansmodell	31
Effektiv svintemperatur och temperatur-luftfuktighetsindex	33
Effektiv omgivningstemperatur	33
Ekvivalent standardiserad omgivningstemperatur	34
Missouri modellen	36
Bioklimatiskt index	37
Kylfaktor	37
Jämförelse mellan modeller för värmeavgivning	40
MATERIAL OCH METOD	41
Beskrivning av X-donet	42

Försöksgård och utrustning.....	42
Luft rörelser, temperaturfördelning och tilluftstemperatur	45
Renhet djur och boxar.....	46
Luft hastighet, hudtemperatur, lufttemperatur och ventilationsstyrning.....	46
Ventilationseffektivitet och ventilationsflöden.....	47
Inne- och uteklimat	48
RESULTAT	48
Jämförelse av luft rörelser och temperaturfördelning.....	48
Djurens renhet och boxhygien	55
Luft hastighetsmätningar, beräkning av kylfaktor	56
Luft hastighetsmätningar över gödselgången.....	59
Ventilationsstyrning	60
Ventilationseffektivitet och ventilationskapacitet	60
DISKUSSION.....	63
SLUTSATSER	66
REFERENSER	67
Litteratur	67
Personliga meddelanden	72

BILAGA 1-14

SAMMANFATTNING

Kraven på klimatstyrning i djurstallar blir högre och högre allt eftersom produktionsmetoderna förfinas. Slaktsvinsproduktion under svenska klimatförhållanden med omgångsuppfödning skapar särskilt stora problem eftersom förhållandet mellan min- och maxventilationen blir stort, cirka 1:15. Fördelningen av tilluft sker oftast med samma tilluftsdon under båda dessa ventilationsflöden och oavsett flöde skall djuren erbjudas termisk komfort.

Sveaverken Agri AB har därför tagit fram en prototyp till ett nytt tilluftsdon (luftfördelare) som bättre skall lösa luftdistributionen under vitt skilda förhållanden. Donet består av vertikal, luftgenomsläpplig textiltub och i dess nedre del hänger en cirkulär luftfördelare. På uppdrag av Sveaverken har en prototyp testats under praktiska förhållanden. Målet med hela projektet, som utförts som ett examensarbete (20 p), har varit att:

- genom litteraturstudie klarlägga vilka termiska förhållanden som bör råda i ett slaktsvinstall
- med fältförsöken jämföra funktionen av två olika tilluftsdon med avseende på konvektiv avkylning och hur detta påverkar grisarnas beteende och boxhygien.

Fältförsöket har genomförts i två slaktsvinsavdelningar, spaltdon i den ena avdelningen och nya luftfördelare i den andra. Försöksdelen har pågått under sommaren 1996 varför endast funktionen under varmare förhållanden studerats. Inom försökets ram har ingen hänsyn till tillväxt eller djurhälsa tagits.

Litteraturstudien visar att lämpliga stalltemperaturer för slaktsvin är mellan 15 och 25 °C. Lufthastigheten kan variera 0,2-0,8 m/s. Den lägre lufthastighet är lämplig vid lägre temperaturer och högre hastigheten vid högre temperaturer.

Den teoretiska bakgrunden till den nya luftfördelarens utformning har varit att erbjuda diffusa luftrörelser under vintern och kraftigare under sommaren. Kalla perioder skall distributionen av tilluft ske genom textiltuben. När det blir varmare ute och stalltemperaturen stiger öppnas luftfördelaren och luftrörelserna över djuren blir kraftigare.

Utgångspunkten för mätningarna var att studera luftfördelarens funktion under sommarförhållanden. Spaltdonen fungerade som referens. Med donets utformning i åtanke förväntades luftfördelaren ha större förmåga till konvektiv kylning än spaltdon.

Klimatmätningarna skedde på samma sätt i de båda avdelningarna. Temperatur och luftfuktighet mättes såväl inne som ute. Temperaturen strax ovanför boxarna, vid taket och i frånluften registrerades. För att jämföra den konvektiva kylningen (kylfaktor) mättes lufthastighet, hud- och lufttemperaturer i tre försöksboxar per avdelning. Som ett

komplement till detta studerades luftförelser, tilluftens väg genom stallet spårades med rök. Hygienen registrerades i hälften av boxarna i respektive avdelning och användes också som ett mått på det termiska klimatet. För att jämföra hur regleringen av ventilationen fungerade i de båda avdelningarna mättes undertrycket mellan stall och skulle. Vid några tillfällen mättes även koldioxidhalten för att beräkna ventilationsflödet.

Resultatet från mätningarna av temperaturer visar att den nya luftfördelaren har större förmåga till temperaturskiktning än spaltdonen. Temperaturskiktningen visade sig genom att temperaturen över boxarna var lägre än stalltemperaturen. För båda donen gällde att skillnaden mellan stalltemperaturen och temperaturen över boxarna var störst när tilluften var kall. De kallaste nätterna under perioden var det cirka $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, detta innebar att skillnaden mellan stalltemperaturen och tilluftstemperaturen (Δt) var drygt $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Beräkningen av kylfaktorn påvisar ingen större skillnad mellan de båda tilluftsdonen. Något högre värden erhöles med spaltdon. Inget av donen nådde upp till de rekommenderade värdena på $60\text{--}80\text{ W/m}^2$. Luftförelsestudien visade att tilluften hade svårare att nå liggytan ju mindre Δt blev, oavsett typ av tilluftsdon. Luftfördelarens förväntat goda förmåga att styra ner luften direkt på djuren visade sig vara något överskattad. Den starkaste luftströmmen uppmättes över boxarna.

En jämförelse mellan temperaturen i boxen vid det aktuella mättillfället och hudtemperaturen på grisarna tyder på att avkylningen var något högre med luftfördelare. Detta bekräftades av studierna av box- och djurhygien. Både djur och liggytor hölls renare i avdelningen med de nya tilluftsdonen.

Vetskap om luftfuktighet och koldioxidhalt vid höga stalltemperaturer gjorde det möjligt uppskatta de maximala ventilationsflödena. Resultatet visade att flödet var något högre i avdelningen med spaltdon trots likvärdig fläktutrustning. Ingen av avdelningarna verkade nådde upp till den dimensionerande kapaciteten för sommarventilation..

Mot bakgrund av resultatet från luftförelsestudien modifierades luftfördelarna något för att styra ner luften över boxarnas liggytor. Effekterna studerades inte ingående men det verkade som lufthastigheten över liggytan ökade.

Avslutningsvis kan konstateras att det nya tilluftsdonet är minst lika bra som vanliga spaltdon under sommarförhållanden. Flera egenskaper talar till luftfördelarens fördel, större förmåga till temperaturskiktning, bättre avkylning och därmed bättre box- och djurhygien. Modifieringarna som gjorts verkar förbättra förmågan till konvektiv kylning. Effekten på luftförelserna i djurens uppehållszon vid ökat ventilationsflöde är förmodligen större med den nya luftfördelaren jämfört med spaltdon.

Funktionen hos det nya tilluftsdonet vintertid har inte provats men med tanke på de inställningsmöjligheter som finns bör inga problem med kallras uppstå.

SUMMARY

The demands on climate control in animal houses increases as the methods for production improve. The relationship between maximum and minimum ventilation rate in Swedish houses for fattening pigs, around 1:15, causes problems with the distribution of fresh air. The same type of inlets for fresh air are usually used under both ventilation rate conditions. Independently of the ventilation rate the inlets should offer thermal comfort.

A prototype to a new inlet (air distributor) has been developed by Sveaverken Agri AB as an attempt to solve the distribution problem within a wide range of thermal conditions. The prototype consists of a vertical air prenetable textile tube and a bottom which can be lowered creating a circular slotted inlet. This project was initiated by Sveaverken Agri AB in order to test the inlet on a farm with pig production. The aim of the study was to:

- identify the demands of thermal environment in a house for finishing pigs by a literature review
- compare two inlets for fresh air, the new prototype and a conventional slotted inlet

A house containing two compartments for finishing pigs was used for the study, one of the compartments had slotted inlets and the other one the new prototype. Tests were made during summer conditions, 1996. Animal growth and health aspects were excluded from the study.

The literature review shows that temperatures between 15 and 25 °C are suitable for finishing pigs. The air speed can vary between 0,2 and 0,8 m/s, lower air speeds during lower temperatures and faster when it is warmer.

The idea behind the air distributor has been to provide the pigs with a slow, diffuse air movement during the winter and stronger air stream during the summer. A tube of textile is used for distribution of fresh air when the incoming air is cold. As the temperature rises in the house the air distributor opens and the airflow pattern changes to reach the animals directly.

Measurements were made to study the abilities of the air distributor considering the expected air flow pattern. The compartment with slotted inlets was used as a reference. The construction of the air distributor was expected to induce greater convective cooling than the slotted inlets.

During the test period several parameters were measured to compare the two different air inlets. In each compartment respectively temperatures and air humidity were registered by computer loggers, inside as well as outside the stable. The effect of convective cooling was considered by calculating the chill factor. For this reason air speed, skin- and air temperature were measured in tree pens in each compartment.

Smoke was used to trace the air flow pattern. The pen and animal hygiene was controlled in 13 pens in each compartment. The static pressure between each compartment and the attic was measured to find possible differences in the regulation of the ventilation systems. Occasionally the concentration of carbondioxide was measured to calculate the ventilation rate.

The results from the measurements show that the new air distributor has a greater capability to stratify the temperature than the slotted inlets. This was proved by calculating the differences between temperatures at pen level and the average temperature in each compartment. Both inlets showed greatest temperature differences when the incoming air was cold. The lowest temperature measured of incoming air was -5°C , which gives a 20°C difference (Δt) between temperature of the stable and the incoming air.

Calculations of the chill factor proved no greater difference between the two air inlets. The slotted inlets showed slightly higher values. Non of the inlets reached the recommended level of $60\text{-}80\text{ W/m}^2$. The study of the air flow pattern showed that a lower Δt reduced the ability of incoming air to reach the lying area of the pens, independently of the type of inlet. The air distributor was expected to direct incoming air towards the lying area. This ability was proved to be overestimated. The fast air stream passed above animal level.

A comparison between air and skin temperatures implied that the cooling effect was higher with the air distributors than the slotted inlets. This was confirmed by the results from the study of hygiene. Animals and pens reached a better level of hygiene with the new inlet.

Knowledge of the concentration of carbondioxide and relative humidity of air was used to estimate the ventilation rate in each compartment. The calculated ventilation rates were higher in the compartment with slotted inlets, despite equivalent exhaust fans. Non of the compartments reached the Swedish recommendations for maximum ventilation rate.

Minor adjustments were made to improve the ability of the new inlet to direct incoming air towards the lying areas in the pens. This effects of these adjustments were not studied carefully but the air speed seemed to increase over the lying area.

Considering the results, the new inlet functions at least as well as ordinary slotted inlets during summer conditions. The air distributor has several advantages, greater capability to stratify temperature, greater cooling effect under warm conditions and with that better pen and animal hygiene. The adjustments of the new inlet seem to improve the ability to convective cooling.

The new inlet has not been tested during winter conditions but by adjusting the inlet height above floor level, there should be no difficulty to prevent cold air from falling down on the animals.

TECKENFÖRKLARINGAR

A	kontaktarean (m^2)	ME_m	energibehov för underhåll (MJ/dag)
A	grisens totala omgivningsarea (m^2)	N	antalet grisar i en grupp
A_k	arean av grisen i kontakt med andra grisar (m^2)	p_1	ångtryck vid djurets yta, Pa
A_c	djurets kroppsytta (m^2) som deltar i värmeutbytet genom konvektion, normalt omkring 90 %.	p_2	ångtryck i den fria luften, Pa
A_e	effektiv avdunstningsytta hos djuret (m^2)	q_k	Minventilationsbehov för att ventiler bort CO_2 (m^3/h)
A_f	arean av grisen som är i kontakt med golvet (m^2)	q_{\max}	Maxventilationsbehov under sommaren (m^3/h)
A_r	arean av kroppen som utsätts i strålningsutbytet (m^2)	q_f	Minventilationsbehov för att ventiler bort fukt (m^3/h)
B	Bioklimatiskt index	R_a	totalt värmemotstånd vid hudytan mot luften ($^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$)
$\text{CO}_{2\text{prod}}$	Koldioxidproduktionen vintertid (l/h)	R_f	Golvets värmemotstånd ($^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$)
d	bålens diameter (m)	R_t	kroppsvävnadens värmemotstånd ($^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$)
F_{iv}	grisens fuktproduktion under vinterklimat (g/h)	T_a	lufttemperaturen (K)
f_c	koefficient som beror av konvektionsytans dimension och ytbeskaffenhet	T_b	kroppstemperatur (K)
k	effektivitetskonstant av energiintaget för tillväxt	T_r	omgivningens temperatur (K)
M	Grisens massa (kg)	T_s	djurets yttemperatur (K)
ME	smältbart energiintag (MJ/dag)	v	lufthastigheten (m/s)
		X_{iv}	Stallluftens vatteninnehåll i mättat tillstånd vintertid ($\text{g H}_2\text{O/kg}$ luft)

X_{uv}	Uteluftens vatteninnehåll i mättat tillstånd vintertid (g H ₂ O/kg luft)	Φ_e	värmeavgivning genom evaporation, (W)
X_l	absolut luftfuktighet (g vatten/kg torr luft)	Φ_l	värmeavgivning genom ledning, (W)
α_l	värmekonduktiviteten (W/m°C)	Φ_s	värmeavgivning genom strålning, (W)
α_c	värmeövergångstal för konvektion (W/m ² °C)	ϑ_a	lufttemperatur (°C)
α_e	avdunstningskoefficient (dim. lös)	ϑ_b	kroppstemperatur (°C)
α_r	strålningskoefficienten (W/m ² K)	ϑ_{EET}	effektiv omgivningstemperatur (°C)
$\delta T/\delta x$	temperaturgradienten (°C/m)	ϑ_{MOT}	modifierad omgivnings-temperatur (°C)
ε	emissionskoefficient	ϑ_r	medelstrålningstemperatur (°C)
ψ	totalt värmeflöde genom huden (W/m ²)	ϑ_s	temperaturen på djurets yta (°C)
ψ_c	kylfaktorn (W/m ²)	ϑ_x	omgivande lufts temperatur (°C)
ψ_e	latent värmeflöde (W/m ²)	ϕ_{iv}	Stalluftens relativa luftfuktighet vintertid (%)
Φ	grisens totala värmeförluster (W)	ϕ_{uv}	Uteluftens relativa luftfuktighet vintertid (%)
Φ_c	värmeavgivning genom konvektion, (W)	ρ	Stalluftens densitet (kg/m ³)
Φ_n	termoneutral värmeproduktion (W)		

INLEDNING

Under de senaste 30 åren har svensk slaktsvinuppfödning upplevt en mycket kraftig intensifiering. Utvecklingen har inte bara förändrat djurhållningen utan produktionen ställer helt andra krav på utformningen av stallar, foder-, gödselhantering och klimatisering. Den höga djurtätheten i slaktsvinstallar skapar ett särskilt stort problem vad avser ventilationen eftersom förhållandet mellan min- och maxventilation blir mycket stor, omkring 1:15 eller mer. Under båda dessa flödesförhållanden med vitt skilda tilluftstemperaturer skall ventilationen förse djuren med ett dragligt termiskt klimat.

Matematiska och empiriska modeller över djurens värmebalanser gör det idag möjligt att i viss mån förutsäga vilka miljöförhållanden som bör eftersträvas. Den termiska miljön kan inte bara beskrivas med temperaturen utan faktorer som lufthastighet, luftfuktighet, strålningstemperaturer, tillgång till strö, golvtyp och utfodringsintensitet måste också inkluderas i beräkningarna. Kunskap om vilka krav närmiljön ställer skapar underlag för utformning av ventilationssystemet.

För grisar röner maxventilationens utformning och funktion ett extra stort intresse eftersom djurens förmåga att svettas är mycket begränsad. I vilt tillstånd kyler de kroppen genom att rulla i gytja, vilket i stallmiljön ersätts av den egna avföringen. För att kringgå detta problem måste grisarna kylas på annat sätt. En väg är att under varmare förhållanden öka lufthastigheten i djurens vistelsezon. Många studier visar att kopplingen mellan renare djur och högre lufthastighet är tydlig.

Avgränsning, syfte och mål

Föreliggande arbete har fokuserat kring klimatiseringsproblemen i slaktsvinstallar under sommarförhållanden. En litteraturstudie omfattande grundläggande begrepp vad gäller värmereglering och värmeöverföring samt modeller över djurens termiska komfort har genomförts. Utöver detta har även ett ventilationsförsök genomförts där en prototyp av ett nytt tilluftsdon (kallas härnäst för X-don) har jämförts med ett konventionellt spaltdon (kallas härnäst för S-don). Under försöket har olika fysikaliska parametrar samt boxarnas och djurens renhet studerats. Någon koppling till djurhälsa eller tillväxt har inte gjorts.

Syftet med studien är att klarlägga vilka termiska förhållanden som bör råda i ett slaktsvinstall under sommaren, samt att jämföra de två typerna av tilluftsdon med avseende på detta.

Hypotes

X-donet har bättre förmåga till lokal kylning än S-don. X-donet kan också tillfredsställa grisarnas behov med avseende på kylfaktorn, 60-80 W/m² (Sällvik och Walberg, 1984).

LITTERATURÖVERSIKT

Grundläggande om värmeöverföring

En kropp med högre temperatur än sin omgivning avger värme för att jämvikt skall uppstå. Värme vandrar alltid från en varm till en kallare omgivning och kan överföras på flera sätt; strålning, ledning, konvektion och evaporation. Djurens värmeutbyte med den omgivande miljön sker genom samtliga av dessa fyra värmeöverföringsprinciper.

Strålning, ledning och konvektion kan upplevas genom att hålla handen nära ett varmt föremål, t.ex. ett element på vintern. Läggs handen på elementet upplevs värmen i form av ledning och hålls handen ovanför elementet upplevs luftens uppåtriktade konvektiva värmeströmmar. Placeras handen istället vid sidan av elementet värms den fortfarande upp trots att den inte utsätts för värmeöverföring genom ledning eller konvektion. Värmen tillförs nu handen genom strålning. (Young, 1992)

Det som handen känner är inte värmeflödet i sig utan temperaturskillnaden som upplevs genom de olika värmeöverföringsprinciperna.

Djur och människor avger värme på flera sätt. Den totala värmeavgivningen delas in i sensibel- (fri) och latent värmeavgivning. Sensibel värme definieras som den värmemängd som åtgår för att förändra ett materials temperatur och där varken diffusion eller evaporation förekommer (Esmay, 1978). Värmeförluster genom strålning, ledning och konvektion kallas med ett gemensamt namn för sensibel värmeavgivning.

När värmen avges genom svettning eller andning kallas det för latent- (bunden) värmeavgivning. Latent värme definieras som den energi som åtgår när aggregationstillståndet hos ett material förändras utan att dess temperatur ändras (Esmay, 1978).

Strålning

Alla kroppar avger energi i form av värmestrålning (Φ_s). Strålningsenergi består av elektromagnetiska vågor som rör sig med ljusets hastighet och passerar såväl vakuum som luft. Kroppar kan vara transparenta för strålning. Det innebär att de elektromagnetiska vågorna passerar mediet utan att absorberas. När en icke strålningstransparent kropp träffas av de elektromagnetiska vågorna, absorberar den energin och värms upp. På så vis kan värme överföras mellan närliggande kroppar utan att de är i kontakt med varandra. Båda kropparna utbyter värme i form av strålning men nettoutbytet mellan dem beror av temperaturskillnaden, se ekvation 1.

Vid låga temperaturer är värmestrålningen liten och huvudsakligen långvågig. När temperaturen stiger ökar den kortvågiga strålningen på bekostnad av den långvågiga, dessutom ökar strålningsintensiteten snabbt eftersom den förhåller sig till ytemperaturen som $\Phi_s \sim T^4$. Utöver temperaturen beror strålningsintensiteten också av ytstrukturen hos föremålet. (Young, 1992)

Esmay (1978) beskriver värmestrålningen från en kropp, se ekvation 1. Arealen (A_r) är omgivningens arean reducerad med en faktor som tar hänsyn till att hela ytan inte exponeras vinkelrätt mot strålningskällan, t.ex. solen. Denna faktor är normalt 0,70-0,75 för djur (Mount, 1978).

$$\Phi_s = A_r \alpha_r (T_s - T_r) \quad (1)$$

Strålningskoefficienten (α_r) beror av flera faktorer. Ekvation 2 visar hur detta kan tecknas för djur (Sällvik 1994). Omgivningens strålningstemperatur (T_r) är ett medelvärde av de närliggande kropparnas strålningstemperaturer, exempelvis golv, inredning, tak och så vidare. Faktorn e beror av ytans beskaffenhet och våglängden och kallas emissionstal. I regel är talet större hos mörka grova ytor än hos ljusa släta och varierar mellan 0-1. Slät koppar har t.ex. ett emissionstal på 0,3 (Young, 1992) och för djur ligger talet mellan 0,95-0,97 (Sällvik, 1994).

$$\alpha_r = 0,23e \left(\frac{T_s + T_r}{200} \right)^3 \quad (2)$$

Under normala förhållanden står strålningen för ungefär 50 % av djurets sensibla värmeavgivning. Resten sker genom konvektion eftersom ledningsförlusterna är försumbara för stående djur. (Esmay, 1978)

Konvektion

Konvektion är en förflyttning av värme genom massflöden och uppstår i gaser och vätskor. Det finns två former av konvektion; naturlig och påtvingad konvektion. Den naturliga konvektionen orsakas av att en gas eller vätska värms upp lokalt vilket skapar en densitetsskillnad, t.ex. varm luft som stiger uppåt. Den påtvingade konvektionen har en drivkälla som kan bestå av en pump, en fläkt, vinden etc.

Naturlig konvektion uppstår alltid runt en kropp med annan temperatur än sin omgivning. Den naturliga konvektionen bildar ett flera millimeter tjockt skikt av strömmande luft runt kroppen (Mount, 1975). Vid måttliga strömningsförhållanden fungerar luftlagret som isolering men det förstörs om den påtvingade konvektion ökar. I djurstallar brukar luftströmmar som rör sig under 0,1 m/s kallas för naturliga och luftströmmar över 0,2 m/s anses domineras av påtvingad konvektion (Mount, 1978).

Young (1992) beskriver konvektionen som en mycket komplicerad process och därmed finns inga enkla ekvationer för att beskriva den. För att beräkna djurens värmeförluster genom konvektion (Φ_c) kan ekvation 3 användas (Sällvik, 1994).

$$\Phi_c = \alpha_c (\vartheta_s - \vartheta_x) A_c \quad (3)$$

Förutom temperaturdifferensen mellan djurets yta och omgivande luft, påverkas de konvektiva värmeförlusterna av lufthastigheten. Enligt Sällvik (1979) gäller ekvation 4 vid påtvingad konvektion:

$$\alpha_c = f_c \sqrt{v} \quad (4)$$

f_c är en koefficient som beror av konvektionsytans dimension och ytbeskaffenhet. f_c har experimentellt bestämts till 9-11 för kor och svin (Sällvik, 1994). Ekvation 5 och 6 visar hur påtvingad (α_{cf}) respektive naturlig konvektion (α_{cn}) beräknas för svin enligt Mount (1977).

$$\alpha_{cf} = 3,96 \sqrt{\left(\frac{v}{d}\right)} \quad (5)$$

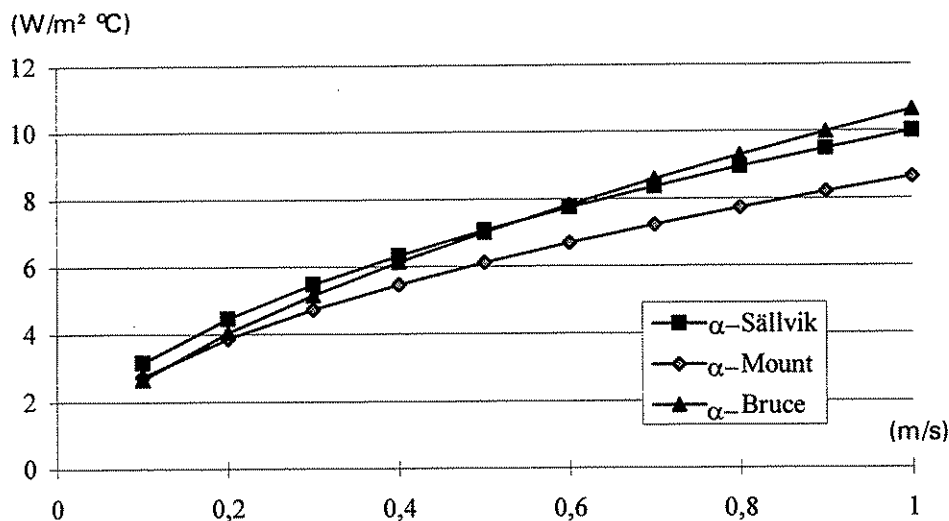
$$\alpha_{cn} = 1,44 \sqrt{\left(\frac{T_b - T_a}{d}\right)} \quad (6)$$

Bruce och Clark (1979) räknade från tidigare studier fram att värmeövergångstalet för konvektion var beroende av lufthastigheten och arean hos kroppen. Arean anses dock vara direkt korrelerad till massan, $A=M^{0,13}$, se ekvation 7.

$$\alpha_c = 15,7 \frac{v^{0,6}}{M^{0,13}} \quad (7)$$

Ekvationerna 4-7 visar tydligt vilka skillnader som uppstår mellan olika försök. För att göra en jämförelse antas en gris på 20 kg ha en båldiameter på 0,21 meter (Mount, 1977) och f_c för svin antas vara 10 (Sällvik, 1979). Resultatet visas i figur 1. Givetvis erhålls ett annat resultat med en annan gris. Vid större båldiameter blir skillnaden större mellan de båda ekvationerna.

Studier av Mount och Ingram (1965) visar att den isolerande förmågan nästan halveras (α_c fördubblas) när lufthastigheten ökar från 0,08 m/s till 0,35 m/s. En jämförelse med kurvorna i figur 1 visar att detta stämmer väl överens med andra försök.



Figur 1. Skillnaden mellan olika värmeövergångstal för konvektion. Jämförelse mellan Sällvik (1979), Mount (1977) och Bruce & Clark (1979) beräknat enligt ekvationerna: 4, 5 och 7.

Ledning

När en temperaturgradient uppstår i en kropp eller mellan två kroppar i kontakt sker en energiförflyttning från den varmare delen mot den kallare. Fenomenet kallas för ledning. Värmen överförs med hjälp av molekylernas rörelser. Vid den varma delen är molekylaktiviteten hög vilket fortplantas i mediet och värmen leds vidare (Sällvik, 1994).

Djur som står upp påverkas obetydligt av ledning. Den enda kontaktytan djuret har med underlaget är klövarna/hovarna, eventuell kontakt med inredningen kan försummas. Liggande djur förlorar däremot betydande mängder värme genom ledning då cirka 20% av kroppsytan kan antas vara i kontakt med golvet. Grisar ligger mellan 80-90 % av tiden under sitt liv och påverkas därför mycket av detta. Grisarna har dessutom mycket lite päls vilket gör dem än mer känsliga. (Sällvik, 1994)

Ekvation 8 visar hur ledning av värme kan beskrivas (Holman, 1987). Formeln gäller vid stationära förhållanden. Under stationära förhållanden får ingen typ av värmelagring ske i de olika kropparna. Ett djur som lägger sig på ett stallgolv leder värme till golvet som i sin tur värms upp.

$$\Phi_l = -\alpha_l A_l \frac{\partial T}{\partial x} \quad (8)$$

När djuret legat så länge att temperaturfördelningen mellan djuret och golvet stabiliseras har ett stationärt förhållande uppstått. I ett djurstall är det osannolikt att detta sker

eftersom betonggolv har en stor värmelagringskapacitet. Genom att strö halm eller lägga en gummimatta på betongen kan värmeförlusterna genom ledning reduceras.

Evaporation

När djur svettas bildas ett vattenskikt på hudytan. Vattnet förångas och energin som åtgår tas från huden och luften. För att kylningen skall vara effektiv bör avdunstningen ske direkt från hudytan och inte från pälsen (Sällvik, 1994). Vid avdunstning från pälsytan tas en stor del av värmen från omgivande luft och kyleffekten avtar.

Den bundna värmeavgivningen beror av fuktproduktion, det totala värmeövergångstalet för luft, temperaturskillnaden mellan hud och luft, ångtryck vid huden och i luften, arean av den fuktade ytan och ångbildningsvärmeförbrukningen (Gustafsson, 1988). Sällvik (1994) menar att detta i förenklad form kan tecknas enligt 9. För grisar försvåras sambanden något eftersom de blöter huden med hjälp av omgivningen vilket inte kan definieras matematiskt (Blaxter, 1989).

$$\Phi_e = \alpha_e A_e v^n (p_1 - p_2) \quad (9)$$

Evaporation sker inte enbart genom svettning utan också via luftvägarna. När inandningsluften passerar de fuktiga ytorna i andningsvägarna sker en förångning av fukten. Den kroppstempererade luften tar upp fukten och uppnår nästan 100 procents relativ luftfuktighet (McLean, 1973). Värmeenergin som åtgår tas från djuret som andas och kyler därmed kroppen.

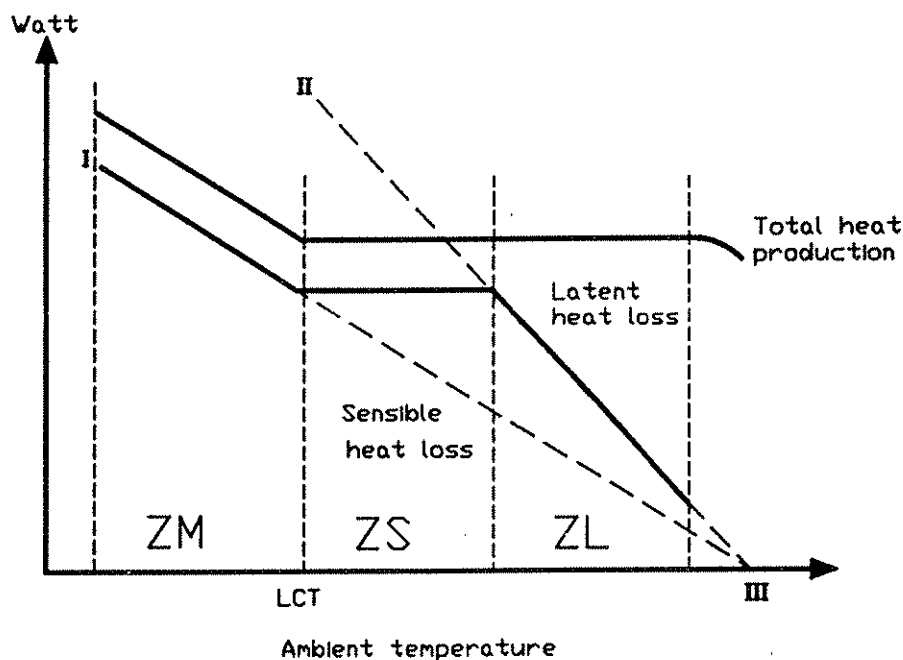
Värmereglering

Ehrlemark (1988) beskriver tre olika reglermekanismer som djur har för att kontrollera sin kroppstemperatur:

- Metabolisk värmeproduktion
- Sensibel värmeavgivning
- Latent värmeavgivning (evaporation)

Sensibel och latent värmeavgivning brukar med ett gemensamt namn kallas för fysikalisk värmeavgivning. Ett annat ord för metabolisk värmeproduktion är fysiologisk värmereglering.

Förhållandet mellan omgivningstemperaturen och djurens totala, sensibla och latent värmeavgivning brukar beskrivas i diagramform, se figur 2.



Figur 2. Förhållandet mellan omgivningstemperaturen och rektaltemperaturen. Total, sensibel och latent värmeavgivning. (Ehrlemark, 1991)

Diagrammet i figur 2 är indelat i tre zoner. I varje zon antas en av de tre reglermekanismerna vara dominerande. Ehrlemark (1988) definierar zonerna på följande vis:

Den första zonen avser metabolisk kontroll (ZM). Den metaboliska värmeproduktionen används för att kontrollera kroppstemperaturen under den nedre kritiska temperaturen (LCT). I denna temperaturzon antas kroppens värmemotstånd vara konstant och maximalt. Djurets metaboliska värmereglering fungerar som en ändring av oxidationsprocessernas omfång. Reglering sker dels via nervbanorna och dels hormonellt via blodbanorna. Vid låga temperaturer förbränner djuret således en större del av fodret och det blir mindre över till produktion av t. ex. mjölk och kött. Vid höga omgivningstemperaturer får djuret problem med att göra sig av med överskottsvärmen och nedsätter värmeproduktionen. Långsiktigt betyder detta minskat foderintag.

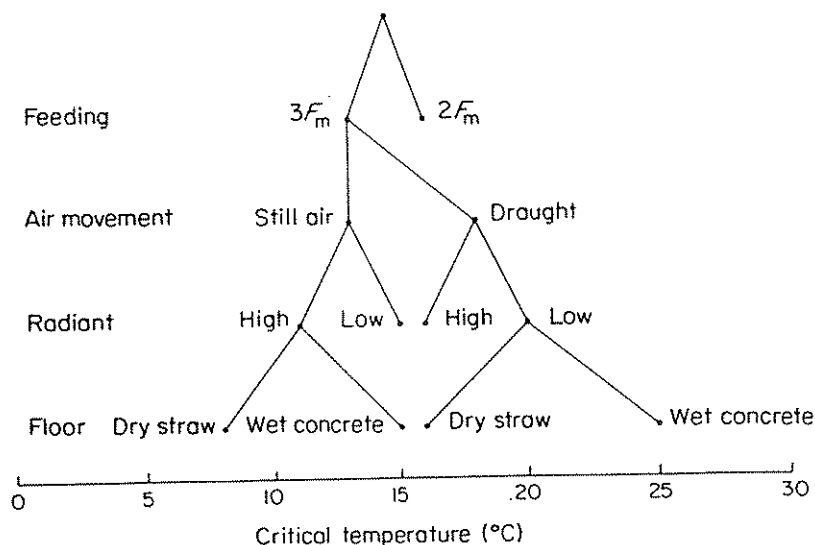
Zonen med sensibel värmekontroll (ZS). Här domineras värmeregleringen av att kroppens värmemotstånd ändras med temperaturen.

Den tredje zonen avser latent värmekontroll (ZL). I denna zon sker värmeregleringen huvudsakligen genom svettning och andning. Kroppens värmemotstånd är konstant och på minimal nivå.

Ehrlemark (1988) definierar kroppens värmemotstånd som den kombinerade effekten av kroppsvävnadens-, pälsens värmemotstånd, kroppsställning och beteende på den sensibla värmeavgivningen.

Zonerna ZS och ZL brukar med ett gemensamt uttryck kallas för den termoneutrala zonen (TNZ). Mount (1974) beskrev TNZ som "temperaturområdet inom vilket djurens metabolism är som lägst och konstant och där den evaporativa värmeregleringen inte ökar". Djuret förutsattes då vara acklimatiserat och ha ett givet dagligt foderintag. CIGR (1984) definierar TNZ som "den termiska miljö, oftast definierad av lufttemperaturen, där ett djurs totala värmeproduktion approximativt är konstant kallas för den termoneutrala zonen". En närliggande beskrivning ges av Close (1981); "temperaturområdet där värmeförlusterna är minimala och energiutbytet ur fodret och den tillgängliga energin för tillväxt är maximal". De temperaturer som begränsar denna zon kallas för undre (lower, LCT) och övre (upper, UCT) kritisk temperatur.

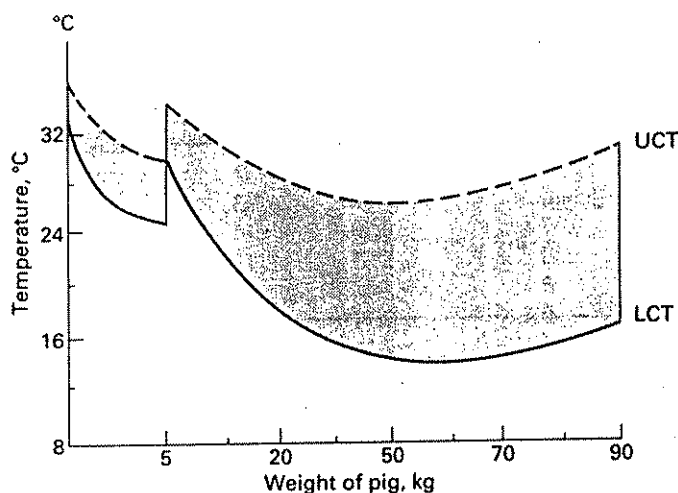
De i figur 2 visade zonerna framstår som tydliga övergångar mellan olika värmeregleringsmekanismer men i verkligheten sker förändringen gradvis. Principiellt gäller trots allt att fysikalisk värmereglering dominerar inom den termoneutrala zonen och metabolisk värmereglering under LCT, någon definition för UCT finns inte (Sällvik, 1994).



Figur 3. Foderintag och miljöfaktorerers påverkan på den nedre kritiska temperaturen hos en grupp om 9 stycken 60 kg tunga grisar. Foder intag, $2 F_m$ och $3 F_m$ (där $F_m = 440 \text{ kJ kg}^{-0.75} \text{ d}^{-1}$ av smältbar energi); luft rörelser, stilla luft (0,1 m/s) och drag (0,8 m/s); strålningstemperatur, hög (sommar) och låg (vinter); golv, torr strö och våt betong. (efter Close, 1981)

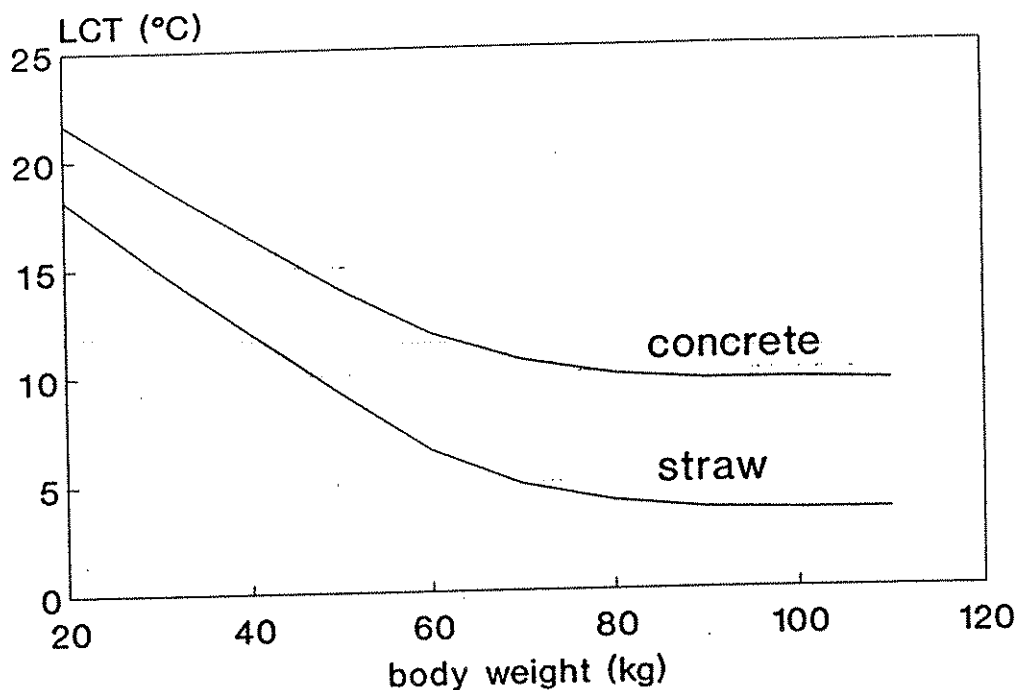
Den övre och nedre kritiska temperaturen varierar vid olika miljöförhållanden. Den kombinerade effekten av konvektion, strålning, ledning och evaporation förskjuter de

kritiska temperaturerna upp eller ner på skalan. Close (1981) ger ett exempel på hur den nedre kritiska temperaturen kan påverkas hos en grupp grisar, se figur 3. Smith (1994) menar att tidpunkten för avvänjning har betydelse, se figur 4. Tidig avvänjning ställer högre krav på den termiska miljön eftersom grisens LCT höjs betydligt.



Figur 4. Tidig avvänjning, påverkan på den övre respektive undre kritiska temperaturen (Smith, 1994).

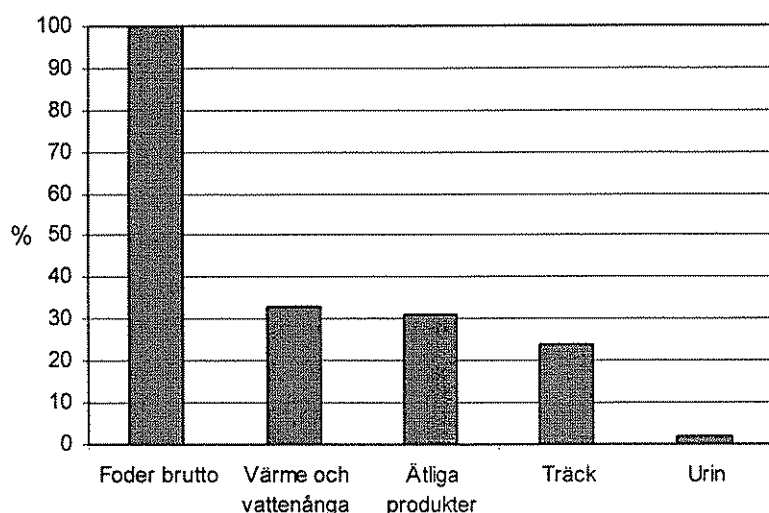
Andra faktorer som givetvis också spelar in är grisens vikt och utfodringsintensiteten (CIGR, 1992). Ett exempel på hur LCT förändras med ökad vikt och tillgång till strö visas i figur 5.



Figur 5. Den nedre kritiska temperaturen för-slaktsvin vid olika viktintervall och golv med eller utan strö, lufthastighet 0,15 m/s och tillväxt 750 g/dag (CIGR, 1992).

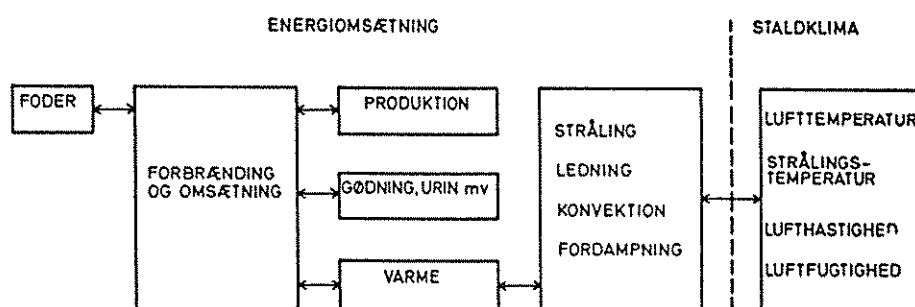
Värmeproduktion och värmeavgivning

Alla djur producerar värme då föda omvandlas till energi. Djur som växer, rör sig, är dräktiga och så vidare producerar dessutom mer värme än passiva djur. För att upprätthålla alla livsnödvändiga funktioner krävs att kroppen håller en viss temperatur och ett djurs verkningsgrad för att omvandla energi, till t.ex. protein (kött) och fett, är liksom hos alla energiomvandlare under hundra procent. Detta skapar överskottsvärme som djuren måste avge, se figur 6. Stapeln för ätliga produkter i figuren motsvara djurets tillväxt.



Figur 6. Fördelning av slaktsvinets värmeförluster har (efter Sällvik, 1994)

Hela processen kan schematiskt beskrivas enligt figur 5 och varierar med foderintag, vikt, eventuell dräktighet och så vidare. (Pedersen och Petersen, 1976)



Figur 7. Samverkan mellan stallklimat och husdjuren ämnesomsättning (Pedersen och Pedersen, 1979).

Fysiologisk värmereglering

För att snabbt och enkelt ändra värmeavgivningen kan djur ändra temperaturen hos huden och pälsens isolerande förmåga. Vid låga omgivningstemperaturer sparar djuret värme genom att sänka hudtemperaturen. Detta sker genom vasokonstriktion och innebär helt enkelt att blodkärlen i huden dras samman och flödet minskar vilket också minskar värmetillförseln. Motsatsen kallas vasodilatation och ger ett ökat blodflöde och en ökad värmeavgivning. (Sällvik, 1994)

Pälsen hjälper också till i dessa sammanhang genom att ändra värmemotstånd genom så kallad piloerektion. Detta sker genom att tjockleken (luftinnehåll) ändras när det blir kallare. Under längre perioder av kyla tättnar pälsen och ökar därmed ytterligare värmemotståndet.

Grisar har väldigt lite päls varför betydelsen av piloerektion är liten men förmågan att ändra hudens temperatur har större betydelse. En sammanställning av Sällvik (1994) visar att en 3 månader gammal gris kan öka värmemotståndet med 60 %. Från $R_{\min} = 0,05 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ till $R_{\max} = 0,08 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Beteendemässig värmereglering

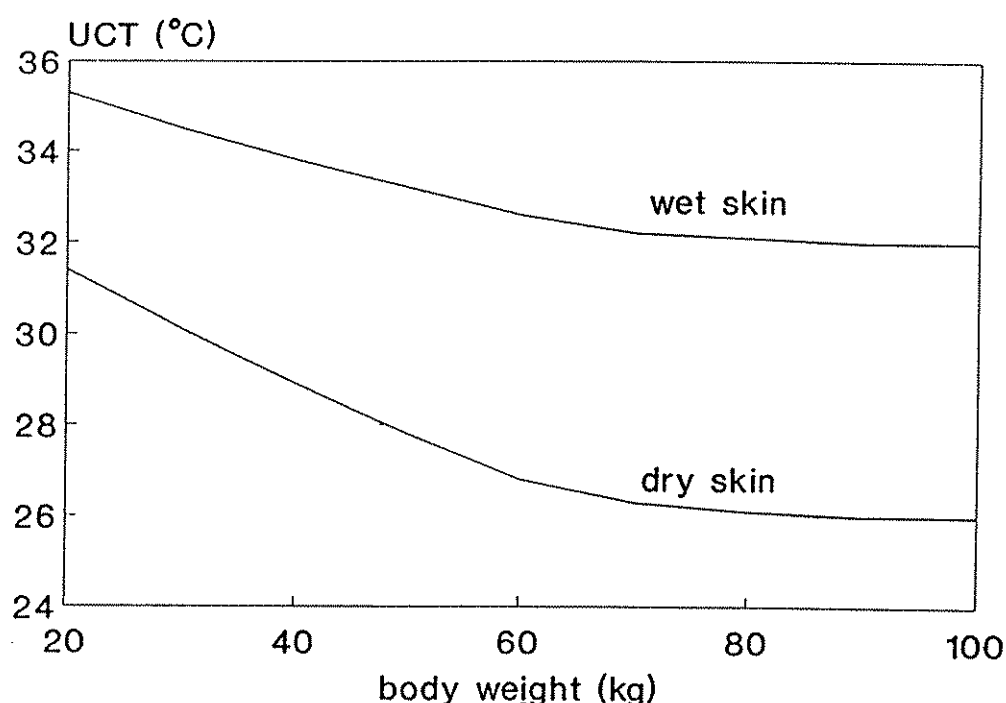
Grisar är känsliga för temperaturförändringar varför förändringar snabbt avspeglas i deras beteende (Smith, 1994). Förmågan att genom ändrat beteende också kunna påverka värmeavgivningen gör att grisar trots allt är mycket anpassningsbara och kan trivas i skiftande miljöer. Denna goda egenskap är dock beroende av vilka förutsättningar miljön erbjuder. Smith (1994) har jämfört grisar som hålls enskilt i boxar utan strö och restriktiv fodertilldelning med gruppållna djur som har god tillgång på strö och foder. Resultatet visar att grisarna utnyttjar de möjligheter miljön erbjuder. De gruppållna grisarna med mer välutrustad boxmiljö klara betydligt kallare klimat än de enskilt hållna djuren.

Blaxter (1989) menar att det bästa sättet för ett djur att klara sig i olika miljöer är att undvika svåra förhållanden. Vid höga dagstemperaturer kan djuret till exempel vara aktivare på natten, söka skugga, ändra foderintag, ligga i vatten och rulla i gyttja. När dagstemperaturen närmar sig kroppstemperaturen är fuktavgivning djurets enda sätt att avge värme. Gustafsson (1988) påpekar att förmågan att svettas och flämta varierar mycket mellan olika djurslag, exempelvis har nötkreatur god svettning förmåga medan grisar knappt svettas alls. Samma förhållande gäller förmågan att flämta. Grisens oförmåga att svettas beror på det ringa antalet svettkörtlar (Jensen, 1993). I tabell 1 visas skillnader i värmeavgivning genom svettning mellan olika arter.

Tabell 1. Den minimala och maximala värmeförlusten genom evaporation från huden hos olika djur (efter Ingram, 1974)

Art	Värmeförlust genom avdunstning av vatten (W/m^2)	
	Under LCT	Över LCT
Människa i arbete	6	816
Människa i vila	6	102
Gris	7	19
Får	8	35
Nöt	9	98
Kyckling	4	12

Tillgång till vatten eller dy att fukta kroppen med ger svin samma möjlighet till evaporativ kylning som en svettande människa har (Ingram, 1974). Figur 8 visar att effekten av att grisen fuktar kroppen. I sterila stallmiljöer är den sista utvägen för grisen att rulla i sin egen avföring för att kyla kroppen. Studier av Fraser (1985) visar att en något högre temperatur över liggytan jämfört med gödselgången skapar god boxhygien, under normala temperaturförhållanden. Under varmare perioder ändras dock djurens beteende vad avser gödslingsplats och liggplats. Vidare menar Fraser (1985) att en skillnad i den termiska miljön, mellan liggyta och gödselgång, styr grisarna till god hygien.



Figur 8. Övre kritisk temperatur för grisar under torra respektive fuktiga (sprinkler system) förhållanden, tillväxt 750 g/dag (CIGR, 1992).

Djur i grupp kan variera sin yta mot omgivningen genom kroppskontakt och på så vis minska respektive öka sin värmeavgivning (Gustafsson, 1988). Undersökningar av Mount (1975) visar att den nedre kritiska temperaturen är direkt beroende av antalet grisar i en grupp. Djurens liggbeteende förändras med stigande kroppsvikt även under konstanta temperaturförhållanden. Sällvik och Walberg (1984) menar att en högre kroppsvikt ökar den totala liggtiden och liggtiden i gödselgången, samt försämrar boxhygienen. Förekomsten av svansbitning är störst i viktintervallet 30-50 kg.

Geers *et al* (1986) studerade vilken kombination av lufttemperatur, lufthastighet och golvtemperatur som föredras i grismiljöer för att hålla liggytan ren. Liggytans temperatur och luftens hastighet varierades inom olika zoner i en box. Lufthastigheten var som lägst strax under 0,15 m/s och maximalt 0,3 m/s. Temperaturen på golvet varierades sedan för att styra djuren till att ligga tillsammans sida mot sida. Flera försök genomfördes vid olika stalltemperaturer. För att inte störa djuren användes en vidoekamera när liggbeteendet studerades. Geers *et al* (1986) konstaterade att grisarna föredrog en stalltemperaturer på 14-25 °C vid en lufthastighet 0,3 m/s och en golvtemperatur över eller lika med lufttemperaturen. Resultatet visar att detta ger rena liggytor och att djurens hygien kan styras av klimatet, vilket bekräftas av Sällvik och Walberg (1984).

Termisk komfort

Termisk komfort för människor kan definieras som en kombination av luftfuktighet, lufthastighet, medelstrålnings- och lufttemperatur. Utöver detta inverkar givetvis graden av aktivitet samt klädsel. Detta innebär i princip att när människor mentalt känner sig tillfredsställda med det termiska klimatet är det bra. Problemet är att den känslan inte är samstämmig med alla människor utan att en viss variation förekommer. Utsätts en grupp människor för samma klimat i ett rum är det näst intill omöjligt att tillfredsställa alla samtidigt, på grund av den biologiska variationen. Målet blir istället att försöka minimera antalet missnöjda. (Fanger, 1973)

För djur gäller givetvis samma sak som för människor. Djuren befinner sig med andra ord inom den termoneutrala zonen när de upplever termisk komfort. Genom att ge djuren valmöjligheter vad gäller termiska klimatförhållanden kan optimum på de fysikaliska parametrarna bestämmas (Sällvik och Walberg, 1984, de la Farge, 1974 m. fl.).

Stalltemperaturer

CIGR (1984) ger rekommendationer för vilka stalltemperaturer som kan vara lämpliga och acceptabla vid olika årstider för svin, se tabell 2.

Tabell 2. *Temperaturrekommendationer för smågrisar och slaktsvin (efter CIGR, 1984)*

Inomhusförhållanden	Smågrisar (kg)				Slaktsvin (kg)				
	2	5	10	20	30	40	60	80	100
Lägsta praktiska temperatur (°C)	28	25	24	20	17	15	13	13	13
Förmodad sommartemp. (°C)	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Förmodad vintertemp. (°C)	28	25	24	20	17	15	13	13	13

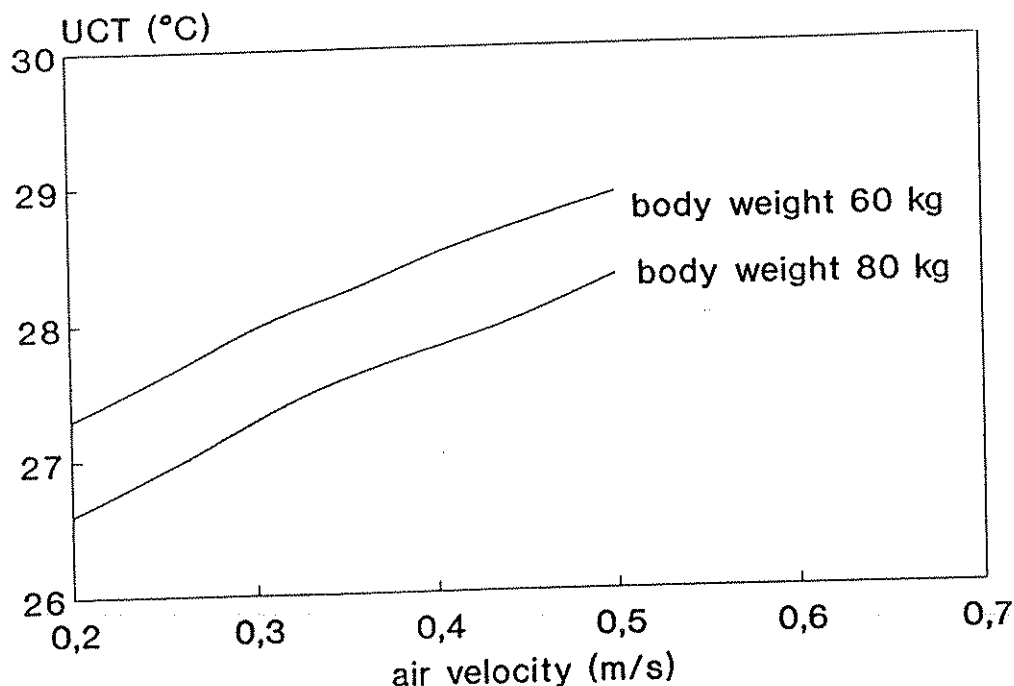
Temperaturens inverkan på tillväxt och foderutnyttjande hos slaktsvin i svensk produktion kan inte entydigt beskrivas. Avelsframsteg, ändrade raser, nya foderblandningar med mera gör att resultat från äldre försök inte alltid kan överföras till dagens produktionsförhållanden. Optimalt temperaturområde för slaktsvin mellan 20-100 kg i stallar med strö är 12-20 °C och i stallar utan strö 14-20 °C. (Sällvik, 1994)

En dansk studie visar att stalltemperaturen kan hållas inom intervallet 13-23 °C med restriktiv fodertillgång, utan att varken tillväxten eller foderutnyttjandet påverkas (Pedersen och Kristensen, 1977). Försök av Nienaber *et al* (1987) tyder på att ett intervall på 5-20 °C kan accepteras vid fri fodertillgång.

Under dygnet kan stalltemperaturen variera inom vida ramar. Detta är påtagligt under sommaren i bland annat Sverige, se bilaga 6-8. Studier av Morrison *et al* (1975) visar variationer av stalltemperaturen med 5-10 grader över respektive under önskad temperatur, inte påverkar djuren negativt. Liknande studier av Hahn *et al* (1987) tyder på att variationerna bör vara något lägre, mellan 5-8 °C.

Lufthastighet

Enligt svensk standard (Svensk standard, 1992) dimensioneras sommarventilationen efter djurens värmeproduktion vid 25 °C och en utetemperatur på 21 °C. Detta innebär att en temperaturökning på +4°C vid 21 °C utetemperatur accepteras i stallet. Under sommaren kan temperaturen givetvis stiga högre varför stallet under denna tid blir mycket varmt. För att kyla grisarna under varmare perioder kan lufthastigheten över djurens liggyta ökas (Sällvik, 1994; Mount, 1977; Bruce och Clark, 1979 m.fl.).



Figur 9. Övre kritisk temperatur (UCT) för slaktsvin vid olika lufthastigheter (CIGR, 1992).

Figur 9 visar hur den övre kritiska temperaturen förändras med ökad lufthastighet och vikt. Med högre lufthastigheten tilltar värmeförlusterna genom konvektion. Även strålningsförlusterna minskar då djurets yttemperatur avtar. Studier av Bond *et al* (1965) visar att yttemperaturen varierar med både luftens temperatur och hastighet på grund av avkylningen (Bond *et al*, 1965). Vid låg (0,18 m/s) respektive hög (1,52 m/s) lufthastighet och en lufttemperatur på 10 °C varierade grisens hudtemperatur med cirka

en grad. Samma hastighetsförhållande men en lufttemperatur på cirka 32 °C gav en skillnad i hudtemperatur på drygt sju grader. De lägre hudtemperaturerna uppmättes vid högre lufthastigheter vilket betyder ökad avkylning. Effekterna på ledningsförlusterna visade sig dock vara mycket små. Under hela försökstiden hölls omgivande ytor vid samma temperatur som luften.

Vidare påpekar Bond *et al* (1965) att foderutnyttjande och tillväxt påverkas negativt när lufthastigheten hålls på den högre nivån och temperaturen är 10 °C. Först vid stalltemperaturer mellan 35 och 38 °C har den höga lufthastigheten en positiv effekt på både tillväxt och foderutnyttjande. Liknande studier av Rokicki *et al* (1973) visar att den avkylande effekten av en lufthastighet på 1 m/s är liten vid en stalltemperatur på 30 °C. För att erhålla en kyleffekt måste luften ha en hastighet på 1,5 m/s.

Lufthastighetens inverkan på tillväxt och foderutnyttjande har också studerats av Gunnarson *et al* (1967). Försöken utfördes i klimatkammare under en tre månaders period på slaktsvin som växte från cirka 44 till 98 kg. Stalltemperaturen pendlade 10-22 °C och lufthastigheten 0,5-2 m/s. Resultatet visar entydigt att en ökad lufthastighet ger sämre tillväxt och foderutnyttjande. Detta bekräftas av Verstegen *et al* (1987). Under olika försöksserier erbjöds 12-14 veckor gamla grisar ett val mellan olika temperaturer vid tre konstanta lufthastigheter. Tillväxt och foderutnyttjande försämrades med ökad lufthastighet och grisarna föredrog också högre temperaturer. Lufthastigheterna som provades var 0,08; 0,25; 0,40 m/s och medelvärdet på temperaturnivåerna som föredrogs var 17,9; 20,5 och 21,7 °C.

Smågrisar är extra känsliga för klimatförändringar. Lämpliga termiska förhållanden för tidigt avvanda, 3 veckors grisar har studerats av Riskowski och Bundy (1988). För att djuren skall klara av förlusten av suggan måste de äta mycket. Aptiten hos djuren är viktig eftersom de skall leva utan soggans mjölk. Riskowski och Bundy (1988) konstaterar att höga stalltemperaturer (över 30 °C) sänkte aptiten och trots höga lufthastigheter erhöles ingen positiv effekt. En stalltemperatur på 29 °C och så låg lufthastighet som möjligt gav bäst resultat.

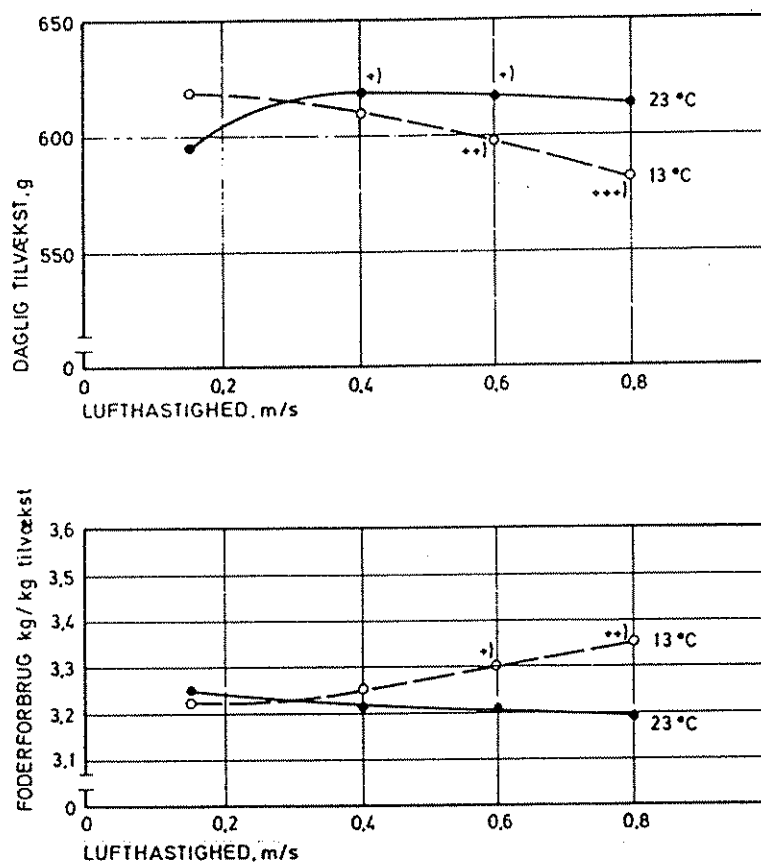
Tabell 3. Försöksplan för lufthastighetsförsök med slaktsvin (1974-76) vid Ørritslevgard, Danmark (efter Pedersen och Petersen, 1976)

Stall	Lufthastighet (m/s)	Temperatur, °C			
		Omgång 1	Omgång 2	Omgång 3	Omgång 4
A	<0,2	13	23	13	23
B	0,4	13	23	13	23
C	0,6	23	23	13	23
D	0,8	13	23	13	23

Vid Statens byggeforskningsinstitut i Danmark har Pedersen och Petersen (1976) genomfört studier av slaktsvin där lufthastighetens inverkan på produktionen var en

viktig parameter. Försöken utfördes i 4 stallar (A-D) och totalt 4 omgångar (1-4) varför 16 olika omgångar studerades. Temperaturer och lufthastigheter var enligt tabell 3.

I varje försöksstall fanns tolv boxar med plats för åtta grisar vardera. Lufthastighetens effekt på foderförbrukning och tillväxt visas i figur 10. Resultatet visar att den dagliga tillväxten är som bäst vid en lufthastighet på 0,4 m/s och stalltemperatur på 23 °C. Foderförbrukningen vid 23 °C håller sig konstant mellan när lufthastigheten är 0,4-0,8 m/s. Renheten i boxarna var god vid den lägre temperaturen och även under den första delen av tillväxtperioden vid den högre temperaturen. Ökad lufthastighet gav renare boxar.



Figur 10. Daglig tillväxt och foderförbrukning vid olika kombinationer av lufthastighet och stalltemperatur för grisar i viktintervallet 20-90 kg. (efter Pedersen och Petersen, 1976)

Genom att ställa in ett P-band på 10 °C på ventilationens reglercentralen, kunde Pedersen (1979) studera effekterna på djuren när både temperatur och lufthastighet varierades under dygnet. Resultatet visar att grisarnas tillväxt inte påverkas i någon större omfattning. En stalltemperatur på 13-23 °C och lufthastigheter från <0,2 till 0,8 m/s ger med hänsyn till daglig tillväxt, foderförbrukning, hälsotillstånd och köttkvalité ett gott resultat. Detta under förutsättning att lufthastigheten i boxarna stiger med ökad

temperatur. Vidare menar Pedersen (1979) att lufthastigheten med fördel kan hållas kring 0,5 m/s vid stalltemperaturer över 20 °C. Temperaturer runt 13 °C kräver dock att lufthastigheten begränsas till högst 0,2 m/s.

Tabell 4. Rekommendationer för lufthastigheter vid olika stalltemperaturer (Ogilvie & Barrington, 1992).

Stalltemperatur, ϑ_a (°C)	Rekommenderad lufthastighet (m/s)
$LCT-2 < \vartheta_a \leq LCT+2$	0,2-0,4
$LCT+2 < \vartheta_a \leq LCT+8$	0,4-0,6
$LCT+8 < \vartheta_a$	0,6-1,2

Ogilvie och Barrington (1992) ger rekommendationer för vilka lufthastigheter som är lämpliga vid olika temperaturer, se tabell 4.

Luftrörelser

Enligt §12 och 13 i den svenska djurskyddslagen (Jordbruksverket, 1993) ställs krav på vilka maximala nivåer av relativ luftfuktighet, ammoniak, koldioxid, svavelväte och organiskt damm som tolereras. I §11 (Jordbruksverket, 1993) står det: "I stall skall djuren ha ett klimat som är anpassat till djurslaget och djurhållningsformen (termisk komfort)". För att uppfylla kraven enligt §12-13 räcker det med att betrakta ventilationssystemet som en svart låda. Luft kommer in och luft åker ut. I rummet produceras en viss mängd föroreningar. Nivån av denna produktion är i regel känd (Svensk standard, 1992). Det är då enkelt att beräkna hur mycket luft som måste bytas ut per tidsenhet för att klara kraven enligt djurskyddslagen.

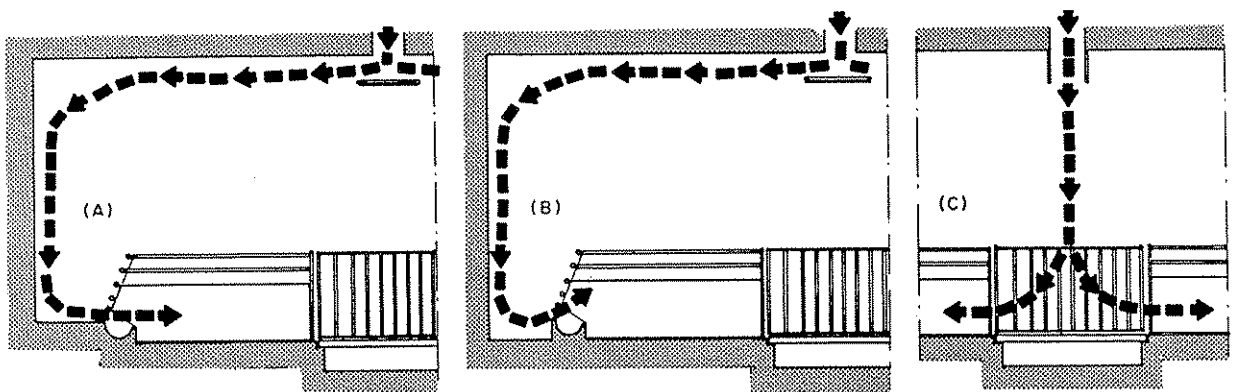
Luftrörelser i rummet och kring djuren har studerats intensivt under senare år. Veterinärer och forskare klagar ofta på ventilationssystemets effekt på luftrörelser och drag som försämrar hälsoläget och produktionen hos djuren. Tekniker ser problemet som värme-, fukt- och gasbalanser där endast ventilationsflödet (m^3/h) är intressant men inget sägs om luftrörelser. (Ogilvie & Barrington, 1992)

För att uppfylla kraven enligt §11 (Jordbruksverket, 1993) krävs att risken för drag och störande luftrörelser beaktas. Luftens rörelseriktning från tilluftsdonen bör gå från gödselgången mot liggytan när temperaturen är 6°C över LCT (Ogilvie & Barrington, 1992). Detta gör att djuren gödslar i den obehagliga zonen, gödselgången, och ligger i den behagliga zonen, liggytan. Högre stalltemperaturer kräver dock ett annat luftrörelsemönster för att undvika det omvända beteendet.

Ogilvie och Barrington (1992) menar att luften i detta läge måste styras över till liggytan. Djuren känner då fortfarande att liggytan är mest behaglig eftersom lufrörelsen ökar avkylningen och de gödslar på rätt ställe. Allt eftersom temperaturen stiger närmare djurens kroppstemperatur minskar den gynnsamma effekten av denna styrning av luften. Luftens hastighet måste givetvis beaktas och öka med stigande temperatur. Detta faller sig oftast naturligt eftersom ventilationsflödet också ökar med stigande temperatur.

Effekterna av turbulenta lufrörelser har studerats hos människor (Fanger *et al*, 1988). Resultatet visar att en turbulent lufrörelse betraktas som mer obehaglig än en jämn luftström. Liknande studier på svin har inte genomförts varför effekten ej kan förutsägas (Ogilvie & Barrington, 1992).

Sällvik och Walberg (1984) jämförde i en studie vilken betydelse luftens rörelser har på djurens beteende under varmare förhållanden, se figur 11. För varje flödesmönster i figur 11 genomfördes försök med tre olika temperaturer; 23, 26 och 28 °C. Resultatet visar att den bästa hygien uppnåddes med lufrörelser enligt C i figuren. Detta trots att den procentuella ligg tiden i gödsgången var störst i detta fall.



Figur 11. Lufrörelser vid de olika försökstillfällena (Sällvik och Walberg, 1984)

Anpassningstid och kompensatorisk tillväxt

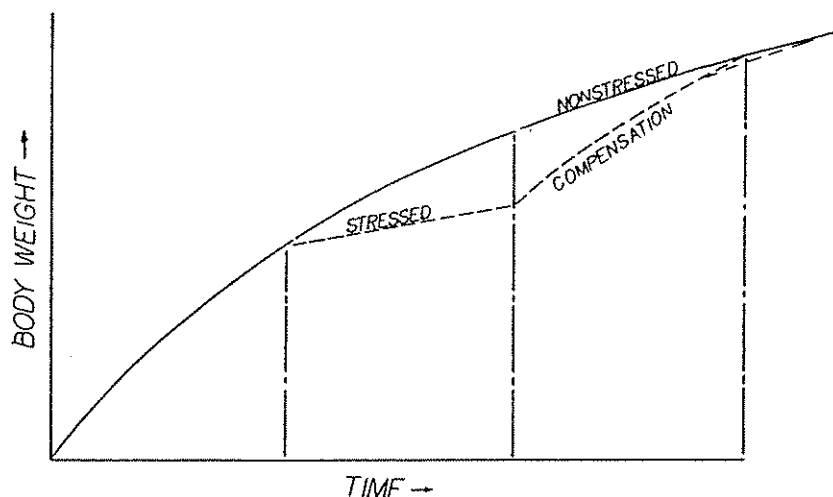
Försök under kortare perioder där det termiska klimatets effekter på tillväxt och foderutnyttjande studeras är vanliga (Verstegen *et al*, (1987), Bond *et al*, (1965) etc.). Pedersen och Kristensen (1977) menar att resultatet från dessa studier inte går att applicera på normal slaktsvinproduktion. Djuren har inte hunnit anpassa sig till klimatet på den korta tid som försöken varat. Ofta rör det sig om få djur och försök i en eller ett

par veckor. Det går då inte att ge några klara besked om hur tillväxt, foderutnyttjande sjukdomsförekomst och slaktkvalitet påverkas. CIGR (1992) menar att djur som utsätts för en gradvis ökning av stalltemperaturen visar en ökad förmåga till sensibel värmeavgivning genom vasodilatation.

Morrison och Mount (1971) undersökte anpassningstiden hos slaktsvinen för förändringar i stalltemperaturen. Under tre på varandra följande fyra-veckorsperioder hölls temperaturen konstant: 22, 33 och 20 °C. Tillväxten på djuren stabiliserades efter nio dygn och andningsfrekvens, vattenintag och rektaltemperatur efter tolv.

Close *et al*, (1981) påpekar också problemen med anpassningstid. Vid små klimatvariationer ändras inte grisarnas värmeavgivningen omedelbart trots varierande omgivningstemperatur. Detta tyder på en viss anpassningstid. Vidare spekulerar Close *et al* (1981) om anpassningstiden är beroende av graden av klimatets påverkan på djurets värmeavgivning. Skillnader i värmeförluster kunde trots allt påvisas i försök, mellan 7 och 14 dagar efter en klimatförändring.

Hahn och Sällvik (1979) menar att korttidseffekten av en förändring i stallklimatet ger inte alltid en riktig bild av sambanden mellan produktion, produktivitet och stallklimat. Orsaken till detta är den så kallade kompensatoriska tillväxten. Vid höga stalltemperaturer försämras oftast produktionen. När temperaturen sedan sjunker har djuren en förmåga att ta igen den förlorade tillväxten genom att "kompensationsväxa". Detta bekräftas av Morrison och Mount (1971) som visar att grisens foderutnyttjande och tillväxt ökar när temperaturen sänks från en stressnivå till en lägre nivå. Figur 8 visar effekten på tillväxten av att en tids värmestress upphör.



Figur 12. Kompensationstillväxt efter en tids värmestress (Christiansson *et al*, 1982).

Modeller över värmeavgivning

Värmebalansmodell

Grisens värmeförluster är en kombination av faktorer såsom konvektion, strålning, ledning och evaporation. Genom att kombinera dessa faktorer har Bruce och Clark (1979) gjort en modell för grisens totala värmeförluster, se ekvation 10.

$$\Phi = \frac{\left[A \left(1 + \frac{A_f}{A} \left(\frac{R_a - R_f}{R_t + R_f} \right) - \frac{A_k}{A} \right) (\vartheta_b - \vartheta_a) + \Phi_e R_a \right]}{(R_a + R_t)} \quad (10)$$

Kännedom om vilken termoneutral värmeproduktion grisen har skulle med hjälp av ekvation 10 ge möjlighet att beräkna den kritiska temperaturen (Bruce, 1981), se ekvation 11.

$$\Phi_n = 11,57 [ME_m + (1 - k)(ME - ME_m)] \quad (11)$$

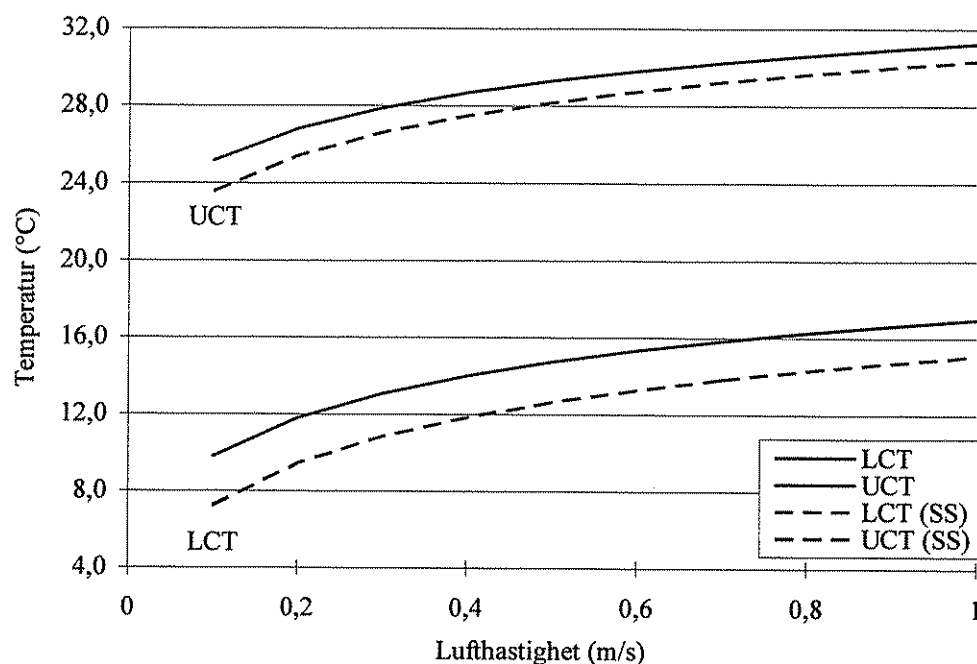
Underhållsbehovet beräknas enligt $ME_m = 0,64W^{0,66}$ för $W < 20$ kg och $0,44W^{0,75}$ för $W \geq 20$ kg. Effektivitetskonstant av energiintaget för tillväxt beräknas enligt $k = 0,625 + 0,00142W$ när $20 < W < 100$ i övrigt är $k = 0,75$. I Svensk standard (1992) har k justerats till $0,47 + 0,003W$ för svenska förhållanden.

En kombination av ekvation 10 och 11 där Φ ersätts av Φ_n och ϑ_a ersätts av ϑ_c ger (Bruce, 1981):

$$\vartheta_c = \vartheta_b - \frac{\Phi_n (R_a + R_t) - \psi_e A R_a}{A \left(1 + \frac{A_f}{A} \left(\frac{R_a - R_f}{R_t + R_f} \right) - \frac{A_c}{A} \right)} \quad (12)$$

Ekvation 12 gör det möjligt att beräkna både den övre och den undre kritiska temperaturen genom att göra följande antaganden (Bruce & Clark 1979): För grisar antas att omgivningsarean ges av $A = 0,09W^{0,67}$ där W är levandevikten på grisen och A_f/A är 0,2 för $R_t \geq R_a$ och 0,1 för $R_t < R_a$. A_c/A ges av $0,15(N-1)/N$ där N är antalet grisar i en grupp. Värmemotstånd: $R_a = (5,3 + 15,7v^{0,6}W^{-0,13})^{-1}$ där v är lufthastigheten i m/s; $R_b = 0,02W^{0,33}$; $R_f = R_{f45}(W/45)^{0,33}(5A_f/A)N^{0,5}$ där $R_{f45} = 0,039$ °Cm²/W för betonggolv (Bruce, 1977); kroppstemperaturen (ϑ_b) sätts till 39 °C. Vid beräkning av LCT antas $\psi_e = 8 + 0,07W$ och för UCT vid torra förhållanden gäller $\psi_e \approx 0,37$ W/m². För att beräkna UCT vid fuktiga förhållanden måste R_a räknas om för detta.

Wejfeldt (1991) vidgade modellen genom att definiera R_f för djupströbäddar. Genom att ansätta A_f/A som nerbäddningsgrad i procent dividerat med 100, där kvoten maximeras till 50%, kan R_f för djupströ beräknas.



Figur 13. Kritiska temperaturer för 60 kg tung gris vid olika lufthastigheter (Bruce, 1981 och Svensk standard (SS), 1992). Foderintaget är 3,3 gånger underhållsbehovet, liggytan av betong utan strö och grisarna är i grupper om 10.

Figur 13 visar hur den termiska komforten förändras med olika lufthastigheter. Som en jämförelse har även beräkningar ur Svensk standard (1992) inkluderats. Högre lufthastigheter har större betydelse vid låga temperaturer. En viktig parameter för den nedre kritiska temperaturen är förekomsten av strö på liggytan. Enligt Bruce (1977) är R_{f45} för betong $0,039 \text{ °Cm}^2/\text{W}$ och $0,46 \text{ °Cm}^2/\text{W}$ för betong täckt av 17 mm torr halm. Genom att strö med halm blir golvet värmemotstånd nästan tolv gånger större. LCT kan i och med detta sänkas med 5-6 °C (Bruce, 1977).

BEZOVA är en datamodell som till grunden baserar sig på Bruce och Clarks (1979) modell (Sterrenburg & Ouwerkerk, 1986). Flera tillägg har gjorts för att vidga giltigheten. Datamodellen kan användas för att beräkna den övre och nedre kritiska temperaturen samt vilken värmeavgivning djuren har. Först måste användaren ange vilka förhållanden som råder, både med avseende på djuren och stallet, sedan erhålls resultatet i form av en tabell där hudtemperatur, UCT och LCT under våta respektive torra förhållanden anges, se bilaga 10. Hur stor andel av värmen som avges i form av ledning, konvektion, strålning och latent värmeavgivning anges också.

Effektiv svintemperatur och temperatur-luftfuktighetsindex

För att beskriva närmiljöns inverkan på både djurs och människors välbefinnande används ibland "temperatur-luftfuktighetsindex" (Temperature Humidity Index, THI). Detta tar endast hänsyn till luftens temperatur samt luftfuktighet. Berry *et al* (1964)

En anpassning av THI för svin är "effektiv gristemperatur" (Swine Effective Temperature, SET). SET beskriver vilken temperatur i en klimatkammare med ett referensklimate (Bond *et al*, 1952) som motsvarar den aktuella termiska miljön (Beckett, 1965). Endast temperaturens och luftfuktighetens effekter omfattas av SET.

För att bestämma vilka miljöförhållanden som korrelerade med referensklimateets temperatur studerades andningsvolymen per tidsenhet. SET för en given luftfuktighet och temperatur gavs när grisen andades samma volym per tidsenhet i klimatkammaren. Studien omfattade endast grisar med en vikt på 70 kg. Strålningstemperaturen antogs vara lika stor som lufttemperaturen och lufthastighetens inverkan försummas.

Beckett (1965) presenterar resultatet från försöken i diagramform. Diagrammet är giltigt för lufthastigheter mellan 0,1-0,15 m/s och visar att effekten av luftfuktigheten är mycket liten för temperaturer under 30-35 °C. Exempelvis är SET för en gris på 70 kg vid 0 respektive 100% luftfuktighet och en stalltemperatur på 30 °C; 28,9 respektive 30,6 °C.

Effektiv omgivningstemperatur

Ett vidare begrepp för att beskriva smågrisarnas närmiljö, infördes av Hoff *et al* (1993). "Effektiv omgivningstemperatur" (Effective Environmental Temperature, EET) omfattar medelstrålningstemperaturen (MST), stalltemperaturen och lufthastigheten vid grisens närhet. Stalltemperaturen och lufthastigheten kombineras i begreppet "modifierad omgivningstemperatur" (MOT). För att beräkna värmeförluster från en liten gris måste strålnings- och konvektionsförluster kalkyleras. Lednings- och evaporationsförluster kan försummas. EET beskriver vilken stalltemperatur som motsvarar de värmeförluster strålning och konvektion orsakar i den aktuella miljön. I ekvation 3 tecknas formeln för EET.

$$g_{EET} = \frac{g_r + g_{MOT}}{2} \quad (13)$$

Medelstrålningstemperaturen definieras av Gunnarson *et al* (1967) som: "The temperature of a uniform block enclosure in which a solid body or occupant would exchange the same amount of radiant heat as in the existing nonuniform environment"

Medelstrålningstemperaturen beräknas genom kännedom om omgivande ytors temperaturer och grisens yttemperatur. Enligt ASHRAE (1989) kan medelstrålningstemperaturen beräknas enligt ekvation 1.

$$g_r = \left[\sum_{n=1}^m T_n^4 \varepsilon_{smågris} \right]^{0,25} - 273,2 \quad (14)$$

Det går också att mäta denna temperatur genom att använda en svart globtermometer, grisen antas ha samma egenskaper som en svart kropp. Studier under vinterförhållanden med en stalltemperaturen pendlande mellan 10-22 °C visar att medelstrålningstemperaturen i princip är samma som lufttemperaturen. (Gunnarson *et al*, 1967)

Den modifierade omgivningstemperaturen tecknas enligt ekvation 1 (Hoff *et al*, 1993).

$$g_{MOT} = g_b \left[1 - \frac{A}{B} \right] + g_a \frac{A}{B} \quad (15)$$

där

$$B = \left(0,033 + \frac{0,0914}{v^{0,466}} \right) \quad (16)$$

$$A = 0,2824 \quad (17)$$

Hoff *et al* (1993) menar att ett värde på EET mellan 29-34 °C är lämpligt för smågrisar.

Ekvivalent standardiserad omgivningstemperatur

Under kalla förhållanden ökar värmeproduktionen på bekostnad av produktionen, om utfodringen är begränsad. Djuren använder fodrets energi till att producera värme istället för tillväxt (Mount, 1975).

För att ge en helhetsbeskrivning av den termiska miljön införde Mount (1975) "ekvivalent standardiserad omgivningstemperatur" (Equivalent Standardized Environmental Temperature, ESET). Genom att utsätta grisar för en standardiserad miljö (se nedan) i en klimatkammare och samtidigt studera foderupptag och värmeproduktion kunde LCT, bestämmas. För att sedan bestämma hur variationer i

miljön påverkar djuret användes tidigare vedertagna formler för värmeavgivning med avseende på strålning, konvektion och ledning.

Den termiska miljön i djurstallar beskrivs ofta med luftens temperatur som enda mått. Detta är ofta otillräckligt eftersom det kräver att luft- och strålningstemperatur är lika, endast fri konvektion råder, luftfuktigheten är låg (omkring 50%) och golvet är välisolerat. I ett djurstall råder sällan alla dessa parametrar samtidigt. Mount (1975) bestämde LCT för en standard miljö, enligt ovan, och beräknade sedan hur den kritiska temperaturen förändrades under andra miljöförhållanden. Studierna gav ett mått på vilken lufttemperatur under standardiserade förhållanden (ESET) som den nya miljön motsvarade, se tabell 4.

Tabell 5. Temperatur (°C) att addera till lufttemperaturen för att erhålla ESET för en grisbox vid avvikande miljöer. α = kombinerad strålnings- och konvektionsfaktor. (efter Mount, 1975)

Miljöfaktor	Nivå/Typ	Ekvivalent temp.variation (°C)	$\alpha=W/m^2$ °C
Lufthastighet (m/s)	Stillastående luft	0	7
	0,2	-4	9
	0,5	-7	12
	1,5	-10	20
Golvtyp	Ströad liggyta	+4	
	Betongspalt	-5	
	Våt yta	-5 till -10	

Försöken i klimatkammare resulterade i ett antal olika LCT beroende på utfodringsgrad och antal grisar per box. Tabell 5 visar resultaten (Mount, 1975). Värdena korrigeras sedan enligt tabell 8 för att bestämma ESET.

Tabell 6. Relationen mellan LCT och fodertilldelningen samt antalet grisar á 35 kg per box (efter Mount, 1975)

Fodertilldelning per		Värmeavgivning (>LCT)	LCT (°C) relaterad till antalet grisar i en grupp		
kJ/kg·dag	g/kg	kJ/kg·dag	1	4	9
500	42	270	20	17	16
540	45	290	19	16	14
575	48	310	18	14	12
620	52	330	17	12	10

Missouri modellen

Christianson *et al* (1982) har gjort en modell över tillväxten på svin under sommarförhållanden. Originalen skapades av Teter *et al* (1973) men modifierades av Christianson *et al* (1982) för att passa modernare produktionsformer. En styrka med modellen är att den tar hänsyn till den kompensatoriska tillväxten genom att ett speciellt stressindex beräknas.

Missouri modellen används för att förutsäga viktökning och foderåtgång under en bestämd tid. Kunskap om den djurens medelvikt vid periodens start, fodrets smältbarhet och energiinnehåll och medelvärden över hur torr och våt temperatur förändras för var tredje timme under hela perioden. Saknas vetskap om den våta temperaturen kan detta ersättas med klimatdata över den torra temperaturen. Användandet av modellen är sedan en iterativ process där viktökning och foderförbrukning för varje intervall (3h) kalkyleras genom att följa en bestämd beräkningsgång, se nedan. Resultatet adderas till startvärdena. Beräkningen avslutas när den avsedda tiden uppnåtts. I och med detta kan effekten av till exempel en lång värmeperiod förutsägas.

Beräkningsgång (ekvationerna finns i bilaga 11):

1. Bestäm den justerade torra temperaturen (T_{ad}) genom att beräkna våt-torrtemperaturindex (WD)
2. Beräkna den övre gränsen för kritisk temperatur (TN_u) och foderintagsfaktorn (k)
3. Beräkna kompensationsgraden (CR). Om T_{ad} är större än TN_u eller om CS är noll, då är CR noll
4. Bestäm maximala foderintaget (M), underhållsbehovet (E) och det metaboliska energiintaget (Q).
5. Beräkna djurens värmeförluster (S eller L) till omgivningen. Det största värdet av S och L väljs.
6. Kalkylera foderbehovet per kilo tillväxt (C)
7. Bestäm viktökning för tretimmarsperioden (G) och foderåtgången (F)
8. Om $TN_u < T$ återgå till steg 4 och repetera steg 4 till 7 där T ersätts med TN_u i alla ekvationer. Genom att subtrahera $F(TN_u)$ med $F(T)$ erhålls den ackumulerade värmestressen.

Christianson *et al* (1982) menar att en av modellen förutsagd viktökning och foderåtgång felar med 10 % från verkliga värden. Perioder kortare än två veckor ger dock sämre precision och cirka 15 % felmarginal.

Bioklimatiskt index

Liksom Mount (1975) försöker de la Farge (1974) beskriva inomhusklimatet med ett index. Bioklimatiskt index beräknas genom vetskap om lufthastighet, grisvikt, absolut luftfuktighet, kropps-, stall- och medelstrålningstemperatur, se ekvation 6.

$$B = 0,02 M - 9 + \frac{2g_r + X_l - (g_b - g_x)\sqrt{v}}{4} \quad (18)$$

Formeln baserar sig på beteende studier där grisarnas respons på olika klimat studerades. I beteendestudien togs bl. a. hänsyn till liggbeteende, aktivitet, kroppsstorlek och aggressivitet. Indexet är sedan utformat så att ett värde omkring noll är optimalt för majoriteten av grisgruppen. de la Farge (1974) presenterar indexet som en skala från -10 till 10 och följande definition:

B=-10	Ytterst kallt
B=-2	Behagligt friskt
B=0	Optimalt index
B=2	Behagligt varmt
B=10	Ytterst varmt

Ungefär 85 % av grisarna anses föredra bioklimatindex 0.

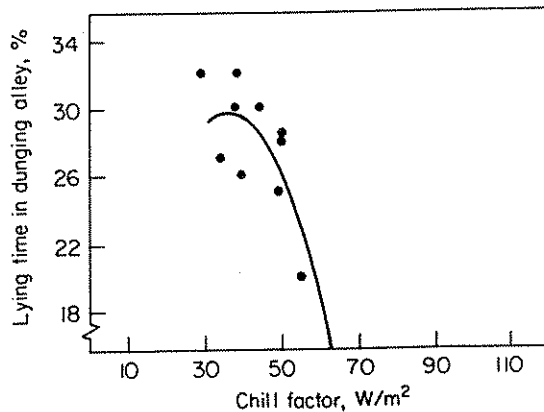
Kylfaktor

Ett mått på vilken effekt den ökade lufthastigheten har på djuren är begreppet kylfaktor (Sällvik och Walberg, 1984). Genom att kombinera ekvation 3 och 4 kan värmeöverföring genom konvektion, under given temperatur och lufthastighet, tecknas enligt ekvation 9.

$$\psi_c = (g_s - g_x)10\sqrt{v} \quad (19)$$

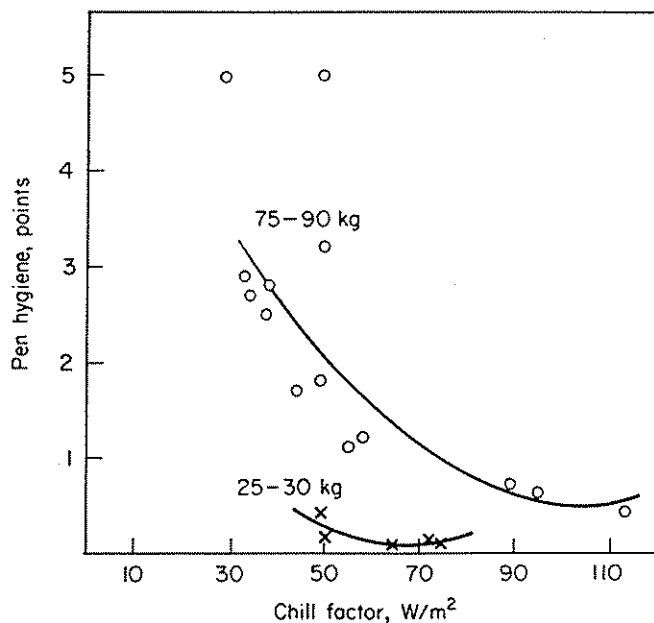
ψ_c kallas här för kylfaktor med enheten W/m². För att försöka öka grisarnas komfort vid varierande termiska förhållanden studerade Sällvik och Walberg (1984) djurens

beteende i klimatkammare. Liggtid i gödselgången, box- och djurhygien, frekvens av svansbitning samt daglig tillväxt jämfördes med kylfaktorn.



Figur 14. Förhållandet mellan liggtid i gödselgången och kylfaktorn för 80 kilo tunga grisar (Sällvik och Walberg, 1984)

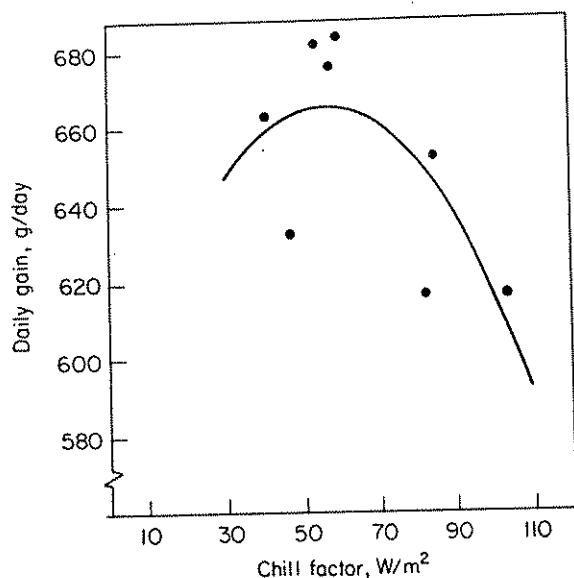
Den totala liggtiden i gödselgången ökade drastiskt när kylfaktorn sjönk, se figur 11. Vid 70 W/m² låg nästan inga grisar i gången, vilket ökade till 20 % när kylfaktorn sjunkit till 60 W/m². Storleken på gödselgången medgav inte att samtliga grisar låg där samtidigt. En liggtid på 32% ansågs vara maximalt.



Figur 15. Förhållandet mellan boxhygien och kylfaktor för två olika viktintervall (Sällvik och Walberg, 1984)

Renheten hos grisarna i det lägre viktintervallet påverkades inte speciellt mycket eftersom de är känsligare för kalla förhållanden, se figur 4. Detta antyder att helt rena djur kan vara en indikation på att djuren har det för kallt menar Sällvik och Walberg

(1984). Tyngre grisar visade signifikant sämre renhet hos både djur och i boxar när kylfaktorn låg under 70.



Figur 16. Förhållande mellan daglig tillväxt och kylfaktor (Sällvik och Walberg, 1984)

Inga säkra samband mellan kylfaktor och frekvens av svansbitning kunde observeras i studien. En tendens var dock att problemen verkade öka både vid för och för låg kylfaktor (Sällvik och Walberg, 1984).

Tabell 7. Kombinationer av lufttemperatur och lufthastighet för att uppnå en kylfaktor på 60 respektive 80 W/m² för tre olika vikter på grisarna (Sällvik och Walberg, 1984)

Kylfaktor, (W/m ²)	60			80		
Vikt, (kg)	50	70	90	50	70	90
Temperatur, (°C)	Lufthastighet, m/s					
12	0,10	0,11	0,13	0,17	0,19	0,22
16	0,14	0,16	0,18	0,25	0,28	0,33
20	0,21	0,25	0,30	0,38	0,44	0,53
24	0,33	0,40	0,50	0,50	0,71	0,89
28	0,64	0,74	1,00	1,14	1,31	1,78

En kylfaktor på 60 W/m² visade sig ge bäst tillväxt, se figur 3. Både lägre och högre värden påverkade tillväxten negativt. Rekommenderad kylfaktor från försöken ligger mellan 60-80 W/m². I tabell 5 visas vilken temperatur och lufthastighet som skall eftersträvas för att hålla sig inom det intervallet. Värden ges för tre olika viktklasser.

Jämförelse mellan modeller för värmeavgivning

De modeller som presenterats ovan är svåra att jämföra eftersom antaganden och utgångspunkter för beräkningarna varierar mycket. Tabell 8 innehåller en sammanställning över rekommenderade stalltemperaturer enligt Bruce & Clark (1979), BEZOVA (Sterrenburg & Ouwerkerk, 1986), Svensk standard (1992), Bioklimatiskt index (de la Farge, 1974) och Kylfaktor (Sällvik & Walberg, 1984) för nedanstående exempel:

Exempelstall:

Djurantal per box: 10 st, grisvikt: 60 kg, utfodring: 3,3 x underhållsbehovet, box: betonggolv utan strö, lufthastighet: 0,2 m/s och 0,8 m/s, strålningstemperatur = stalltemperatur, relativ luftfuktighet 60%, hudtemperatur: 32 °C.

Tabell 8. Sammanställning över rekommenderade stalltemperaturer, för exempelstallet, efter beräkning med olika modeller. Medelvärden inom parentes.

Modell	Rek. temp.intervall (°C) vid olika lufthastigheter	
	0,2 m/s	0,8 m/s
Bruce & Clark (1979)	9,8-25,2 (17,5)	17,0-31,2 (24,1)
BEZOVA	12,0-24,4 (18,2)	16,2-29,9 (23,1)
Svensk standard (1992)	7,2-23,6 (15,4)	15,1-30,3 (22,7)
Bioklimatiskt index ((-2)-2)	14,2-19,5 (16,9)	17,5-22,1 (19,8)
Kylfaktor (60-80 W/m ²)	14,1-18,6 (16,4)	23,1-25,3 (24,2)

MATERIAL OCH METOD

Sveaverken Agri AB har tagit fram en prototyp till ett nytt tilluftsdon, här kallat X-don. Denna studie har gjorts för att studera funktionen av X-donet under sommarförhållanden. Försöket har genomförts som en jämförande studie mellan det nya tilluftsdonet och spaltdon (kvartskanaler från Alfa kanalsystem) här kallat S-don. En gård med slaktsvinsproduktion har fungerat som försökplats under vecka 29-39, 1996. Stallet som användes har två likadana avdelningar varav den ena försågs med X-don och den andra med S-don.

X-donet är framförallt utformat för svinstallar och dess utformningen syftar till att:

- under varma förhållanden fördela tilluften direkt över djurens liggyta och därmed kyla konvektivt (öka lufthastigheten och lokalt sänka temperaturen)
- under kalla förhållanden fördela luften diffust för att minska risken för kallras

För att kunna utvärdera funktionen med avseende på de förväntade egenskaperna omfattade försöket registrering av både fysikaliska och biologiska faktorer. Båda avdelningarna har mättekniskt behandlats på samma sätt och avsikten med mätningarna var att jämföra tilluftsdonen med avseende på:

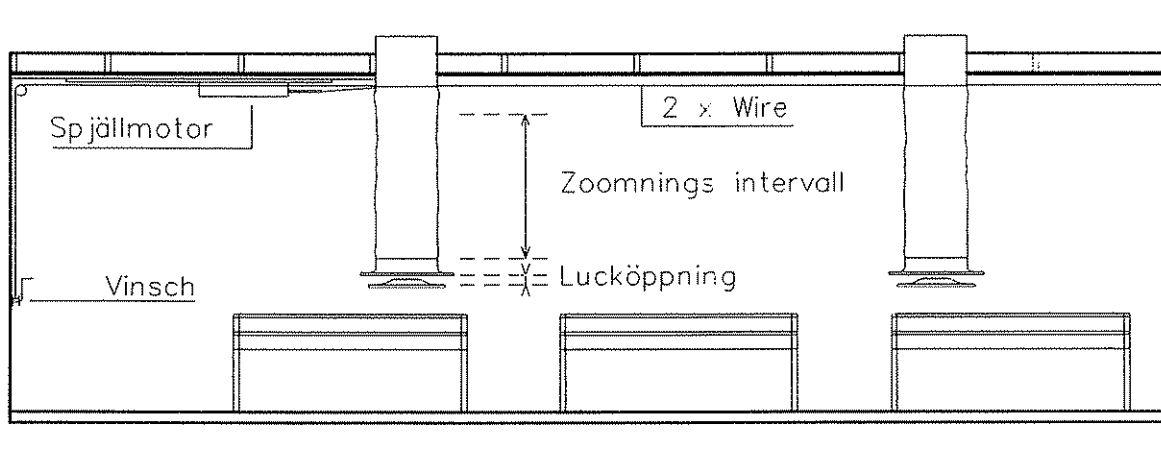
- luftrörelser och temperaturfördelning mellan boxar och tak
- renheten hos djur och liggytor
- kylfaktor (lufthastighet, lufttemperatur och hudtemperatur) och ventilationsstyrning
- ventilationsflöden och ventilationseffektivitet: över liggyta och under tak
- inne- och uteklimat: luftfuktighet och temperatur

Inhämtning av försöksdata skedde både kontinuerligt med hjälp av dataloggrar och intermittent vid de gårdsbesök som genomfördes två gånger per vecka. De kontinuerliga mätningarna sträckte sig över hela försöksperioden och gårdsbesöken utfördes under de nio första veckorna. Det ena besökstillfället skedde på onsdagar och det andra varierades med avseende på tid på dygnet och väderleksförhållanden för att få så stor variation som möjligt.

Beskrivning av X-donet

Figur 12 visar principiellt till vilka lägen X-donet kan regleras och hur det ser ut. Varje don är dimensionerat för cirka 25 slaktsvin (ungefär 3 slaktsvinsboxar). För att erbjuda en lämplig luftfördelning under både vinter och sommarförhållanden har tilluftsdonet flera inställningsmöjligheter. Med hjälp av vinschen kan hela donet hissas upp eller ned. Spjällmotorn sköter endast bottenplattans öppnande och stängande. Detta kan ske oberoende av vilket läge donet vinschats till. Tanken med regleringen är att utrustningen står i nedsänkt läge under sommaren. När stalltemperaturen är hög är bottenplattan öppen. Sjunker temperaturen något stängs bottenplattan steglöst med hjälp av spjällmotorn via reglercentralen. Under minventilation vintertid är bottenplattan stängd och luft tas endast in genom textilst Truman. Nu finns också möjligheten att hissa upp donet för att låta den kalla luften falla längre innan den når djuren för att minska problemen med kallras.

Under hela försöksperioden var donet maximalt nedvinschat. Det enda som ändrades under tiden var bottenplattans öppnande och stängande.



Figur 17. Principskiss över X-donets funktion.

Försöksgård och utrustning

Under inledningen av projektet kontaktades Scan Farmek i Uppsala och Eskilstuna för att erhålla förslag på lämpliga försöksgårdar. Efter gårdsbesök och telefonkontakter fastslogs Norrby gård utanför Uppsala som försöksplats. Gården brukas av Lars Lindström och hans fru Maria samt barnen Rasmus, Gustav, och Agnes. På gården bedrivs slaktsvinsproduktion och växtodling. Gården består av ca. 90 ha åker (inklusive arrende) och 37 ha skog. Lars odlar vete, rågvete, ärtor och korn som används som foder.

Slaktsvinsproduktionen består av tre slaktsvinsavdelningar. En äldre avdelningen med cirka 500 platser och två nyare med cirka 260 platser. De två nyare avdelningarna som använts som försöksstallar är byggda i lättbetong (1976). Före försökens start bestod ventilationen av en äldre typ av spaltdon (C-don). Dessa var placerade längs stallet långsidor i anslutningen innertak-väggar. I båda avdelningarna fanns också tre stycken 60/900 fläktar med aluminium kanaler, dessutom en liten fläkt vid utgödslingens mynning.

Samtliga tre stallar har blötutfodring. Som blötgörande tillsats används vatten, mjölk, vassle och öljäst. Tillgången på marknaden styr blandningens sammansättning. Övriga foderkomponenter består av bröd, korn och vete. Brödet kommer från ett närliggande bageri och består av överblivna brödlimpor och kakor.

Utfodring sker automatiskt tre gånger per dag, morgon, middag och kväll. I början av uppfödningssperioden får grisarna äta så mycket de orkar och en mer restriktiv tilldelning när de uppnått cirka 60 kg levande vikt. Vattentilldelning sker på morgonen och kvällen samt under varma dagar även vid lunch. Utgödsling sker morgon och kväll och varma dagar även lunch. Grisarna får halm en gång varannan dag. Till varje avdelning går det åt omkring 20 kg halm per gång (2-3 balar á 8-10 kg). Detta ger ungefär 0,3 kg halm per box och dag.

Under en längre tid hade Lars planerat att byta ventilationsutrustning varför försöket initierade en ombyggnad av hela ventilationssystemet. Stallet består av två identiska avdelningar i en och samma byggnad, se bilaga 1. Detta medgav att X-utrustningen kunde monteras i den ena avdelningen och vanliga S-don (Alfa kanalsystem) i den andra, se bilaga 1. På så vis erhöles en testavdelning och en referensavdelning med samma utrustning och förutsättningar bortsett från tilluftsdonen och deras placering. Slaglängden på den använda spjällmotorn i referensavdelningen gav luckorna till S-donen en större öppningsvinkel än normalt.

Befintliga fläktar utnyttjades, vilket innebar en vartalsreglerad fläkt, två stegfläktar och en fläkt vid gödselkanalens mynning. De gamla aluminiumkanalerna till frånluftsfläktarna byttes mot ventilationstrummor av polyuretan (Alfa laval).

Den lilla frånluftsfläkten i gödselgångens mynning lämnades orörd liksom tillskottsvärmen som fanns i form av två Ø50 mm järnrör som monterats på stallavdelningarnas väggar.

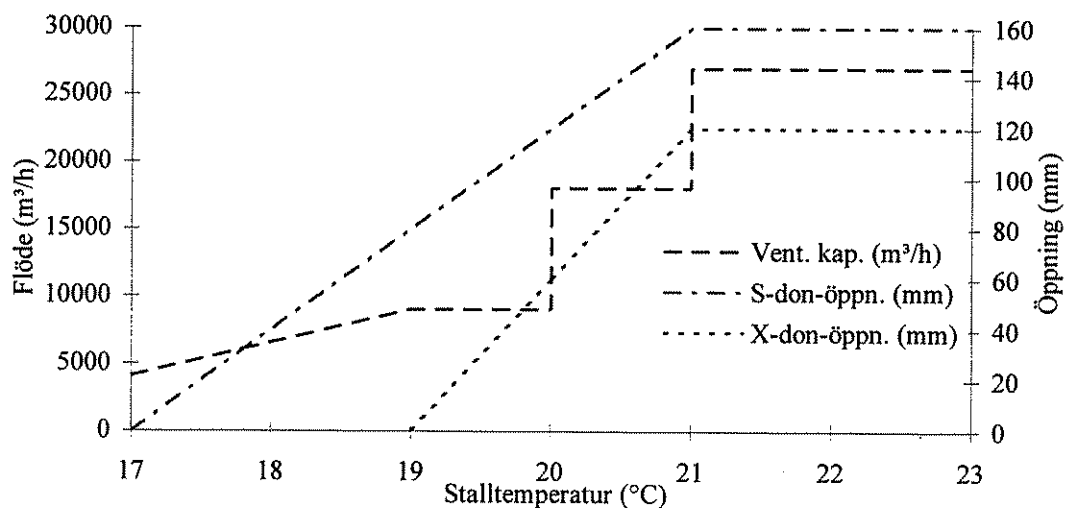
Flödet på frånluftsfläktarna (Ø 600 mm, varvtal 900 rpm) kan under gynnsamma förhållanden uppgå till 9000 m³/h och fläkt vid 60 Pa statiskt mottryck. En fläkt i varje avdelningen har en äldre typ av fläktvingar. Flödet från dessa är lägre än vad som redovisats ovan. Gödselfläktens flöde kan försummas.

Fläkten som är placerad mitt i stallet är varvtalsreglerad och fläktarna vid gavlarna kopplas på vid steg 1 respektive steg 2. För att undvika störningar på X-donen flyttades de två stegfläktarna ett takstolsfack i sidled i testavdelningen, se bilaga 2. Reglercentralen till respektive avdelning består av en Primavent 2000 (Sveaverken Agri AB) och under försöken gjordes inställningar enligt tabell 7. Värmen regleras manuellt och har ingen koppling till reglercentralen.

Tabell 9. Inställningar på reglercentralerna (P2000) i respektive avdelning.

Inställningsvariabel	Testavdelning	Referensavdelning
Börvärde	17 °C	17 °C
Minvarvtal fläkt 1	45 %	45 %
P-band	2 °C	2 °C
Inkoppling steg 1 (°C över börvärdet)	3 °C	3 °C
Inkoppling steg 2 (°C över börvärdet)	4 °C	4 °C
Öppning förskjutning X-don (°C över börvärdet)	2 °C	0

Samverkan mellan fläktar och spjällmotorer visas i figur 1. Luftlödena är teoretiska vilket innebär att ett högre mottryck ger lägre flätkapacitet. Fläktar med ett varvtal på 900 rpm är kända för att vara tryck känsliga. Exempelvis sjunker kapaciteten till 6000 m³/h vid 70 Pa statiskt mottryck (SMP 2766).



Figur 18. Samverkan mellan fläktsteg och tilluftsdonens öppningar i både test- och referensavdelningen.

X-donens bottenplatta börjar inte öppna förrän stalltemperaturen uppgår till 19 °C. Dessförinnan sker luftflödet uteslutande genom textilduken. För X-donet gäller avståndsangivelserna den vertikala spaltöppningen som bildas mellan bottenplattan och inloppstratten, se figur 11. Maximalt utslag på spjällmotorn ger en spaltöppning på 120 mm. För kvartskanalerna avser avståndet spjällmotorns utslag. Maximalt öppnade luckor uppnås när spjällmotorns utslag uppgår till 160 mm.

Luftrörelser, temperaturfördelning och tilluftstemperatur

Luftrörelser stallavdelningarna studerades med hjälp av rökflaskor vid ett flertal gårdsbesök. Mättillfällena varierades med avseende på temperatur och väderlek. För att följa luftens rörelser bemängdes luften kring utloppet på tilluftsdonen med rök. Luftens väg spårades med röken tills den blev för diffus för att följa. För att finna eventuella skillnader i stallavdelningarnas förlängning studerades luftrörelserna på flera platser i samma avdelning under varje mättillfälle.

För att mäta temperaturfördelningen över liggytorna och tilluftstemperaturer användes termoelement (kopparkonstantan). Mätnoggrannheten på temperaturgivarna var: +/- 0,05 °C. Givarna kopplades till en åtta-kanalig datalogger, PC-logger 2100 (Intab Interfaceteknik). För varje avdelning fanns en datalogger att tillgå vilket begränsade antalet mätpunkter till sju per avdelning eftersom en tryckmätare kopplats till den åttonde kanalen.

En temperaturgivaren användes för mätning av tilluftstemperaturen. Den placerades i en tilluftstrumman till ett X-don respektive i en S-don, se bilaga 1-2.

Temperaturfördelningen mättes på två nivåer. Fyra temperaturgivare hängdes cirka 1,3 m över golvet och två cirka 0,6 m under innertaket. Utgångspunkten för placeringen av temperaturgivarna över liggytorna var X-donen i testavdelningen. Tre givare placerades vinkelrätt utifrån ett X-don och tre mitt emellan detta don och nästkommande, se bilaga 1-2. I referensavdelningen skedde placeringen på likvärdig plats dock något närmare norra gaveln för att inte påverkas för mycket av frånluftsfläkten.

Dataloggrarna programmerades till en mätning per minut och medelvärde av tio minuters lagring sparades. Under drygt två av försökens första veckor fungerade inte mätningarna tillfredsställande. Efter lång tids undersökande upptäcktes att en inställningsparameter i loggern var felaktig. När detta korrigerats började mätningarna fungera plan enligt. Bra värden noterades under perioden 960731-960924.

Renhet djur och boxar

Varje gårdsbesök inleddes med att boxhygien och grisarnas renhet registrerades. I varje avdelning valdes 13 boxar ut för renhetsstudien; referensavdelningen (box nr.): 2-4, 7, 9, 12, 14-15, 18, 22, 25, 27, 31; testavdelningen (box nr.): 33, 37, 39, 42, 44, 48, 50, 52, 55, 57, 59-61, enligt bilaga 1. Urvalet av boxar var inte slumpmässigt utan skedde mot bakgrund att studien skulle omfatta alla delar av respektive stallavdelning. De granskade boxarna hade dock samma inbördes placering i båda avdelningarna.

Renheten på liggytorna och på djuren poängbedömdes sedan enligt tabell 10. Varje box delades upp i ett rutnät om sju rutor varav gödselgången bildade den sjunde, se bilaga 9. Renheten av golvet bedömdes sedan i respektive ruta.

Tabell 10. Djurens och boxarnas renhetsskala för bedömning av hygien.

Poäng	Renhet djur	Poäng	Renhet golv
1	Rent och torrt hårlag.	1	Torr gödsel förekommer blandat med torrt strö.
2	Delvis smutsigt eller smutsigt och fuktigt.	2	Gödselklumpar förekommer. Inget eller lite urinfuktat golv
3	Svårt nedsmutsat eller blött.	3	Många gödselklumpar blandade med urin. Golvet är mycket urinfuktat.

Lufthastighet, hudtemperatur, lufttemperatur och ventilationsstyrning

För att beräkna kylfaktorn krävs vetskap om hudtemperatur, lufthastighet och lufttemperatur (Sällvik & Walberg, 1984). Vid varje gårdsbesök mättes dessa parametrar. På morgonen och lunchtid vid de fasta besöksstillfällena (onsdagar) och strax efter ankomst vid övriga besök. Mätningarna utfördes i tre boxar per avdelning: 2-4; 59-61 enligt bilaga 1. För att mäta lufthastighet och boxtemperatur användes en termoanemometer av typ SwemaAir 30 (Swema). Termoanemometern var kalibrerad för lufthastighetsmätningar. Enligt fabrikanten med är mätfelet mindre än $\pm 0,01$ m/s vid lufthastigheter under 1 m/s. Mätfelet vad gäller temperaturmätningar var ej känt. Hudtemperaturen mättes med en IR-termometer (Everest Interscience Inc.) med ett mätfel på $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Vid mätning av lufthastigheten delades varje box in i ett rutnät enligt bilaga 9. Varje ruta betraktades som en mätpunkt. Mätningen gjordes på grisenivå, 0,6-0,8 m över

boxgolvet. Lägre gick ej att mäta på grund av grisarnas intresse för mätutrustningen och risken för att grisarna skulle försätta mätkroppen i lä. För att lufthastigheten skall kunna mätas på ett tillförlitligt sätt måste termoanemometerns mätkropp hållas i luftens rörelseriktning. För att kontrollera detta användes rök.

De mycket små luftrörelser (0,0-0,6 m/s) som mättes gav inget entydigt utslag på termoanemometern. För att erhålla ett medelvärde studerades varje mätpunkt i 20-30 sekunder och den genomsnittliga lufthastigheten uppskattades. Boxtemperaturen mättes på samma höjd som lufthastigheten dock endast mitt i boxen.

Grisarnas hudtemperatur mättes på bålen. Eftersom hudtemperaturen varierar mellan olika individer mättes den på 5-7 grisar och ett medelvärde antogs. Ett värde per avdelning och mättillfälle noterades.

När fläktstegen i ett stall startar och stannar ökar respektive minskar undertrycket. Som en kontroll på hur ventilationsstyrningen fungerade i respektive avdelning användes tryckmätare, Drukmeßumformer typ 891.09.1968 (WIKA). Undertrycket mättes mellan respektive stallavdelningarna och skullen där tilluften hämtades. Mätområdet för tryckmätarna var 0-250 Pa i referensavdelningen och 0-1000 Pa i testavdelningen med en noggrannhet på $\pm 0,5$ Pa. Tryckmätarna placerades vid den norra gaveln i båda avdelningarna och kopplades till den åttonde kanalen på PC-loggern. Värden från tryckmätningen lagrades på samma sätt som för temperaturgivarna.

Ventilationseffektivitet och ventilationsflöden

Ventilationseffektiviteten är ett mått ventilationens förmåga att föra bort en luftförorening ur en lokal. Mellan olika delar i en lokal kan ventilationseffektiviteten variera stort. En orsak till variationen kan vara låg eller hög luftväxlingen i den enskilda punkten. (Gustavsson, 1993)

X-donets fördelning av tilluften direkt över liggytorna antogs ge en högre ventilationseffektivitet över djuren än kvartskanalerna. Genom att mäta koldioxidhalten vid tilluften (C_t) frånluften (C_f) och en punkt x (C_x) kunde ventilationseffektiviteten (e) beräknas enligt $e = (C_f - C_t) / (C_x - C_t)$ (Gustavsson, 1993). Värden runt 1,0 innebär fullständig inblandning av föroreningen.

För att mätningarna, som utfördes vid gårdsbesöken på onsdagar, användes en digital koldioxidmätare, Telaire1050i (Nordtec Instrument AB). I varje avdelningen mättes koldioxidhalten i frånluften, strax över liggytan och under taket vid box 7, 31 respektive 39, 56.

För att mäta de faktiska ventilationsflödena fanns ingen lämplig utrustning att tillgå. Traversering med termoanemometer i frånluftstrummorna var olämplig eftersom trummorna var mycket korta. Istället användes uppmätta värden på koldioxidhalt och luftfuktighet ute respektive inne för att beräkna ventilationsflödet enligt fukt- och koldioxidbalansekvationerna i Svensk standard (1992). Information om fuktproduktion hämtades också ur Svensk standard (1992). Värden på koldioxidproduktionen hämtades från Pedersen *et al* (1996).

Inne- och uteklimat

För att jämföra inneklimatet med luftfuktighet och temperatur utomhus användes dataloggrar av typ Danelko multilogg. Uteloggern placerades vid stallets norra gavel och inneloggarna placerades i frånluftstrumman vid den varvtalsreglerade fläkten i respektive avdelning, se bilaga 1. Loggrarnas mätnoggrannhet var $\pm 0,2$ °C. Dataloggrarna programmerades för att lagra ett värde var tionde minut.

I referensavdelningen fungerade inte dataloggern i frånluftstrumman de avslutande två veckorna av mätningarna. Kontinuerliga värden från samtliga multiloggrar registrades under perioden 960715-960911.

RESULTAT

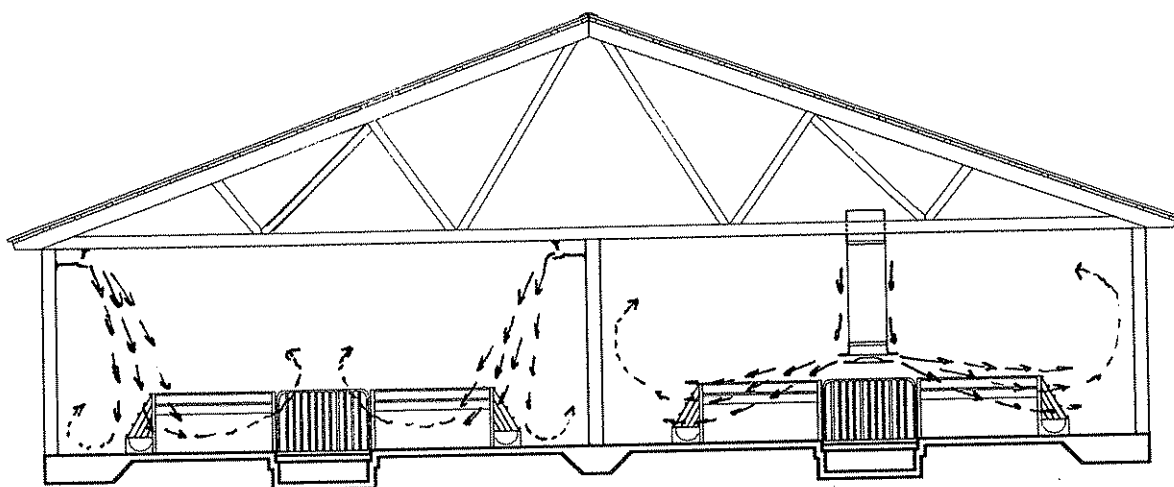
Jämförelse av luft rörelser och temperaturfördelning

Vid höga stalltemperaturer är botteplattan till X-donet öppen, plattan börjar öppna vid 19 °C och är helt öppen vid 21 °C. Kraftigast luft rörelser förväntades därför direkt över djurens liggyta i testavdelningen till skillnad från kvartskanalerna i referensavdelningen där tilluften kastas in i stallet vid anslutningen innertak-vägg med hög hastighet.

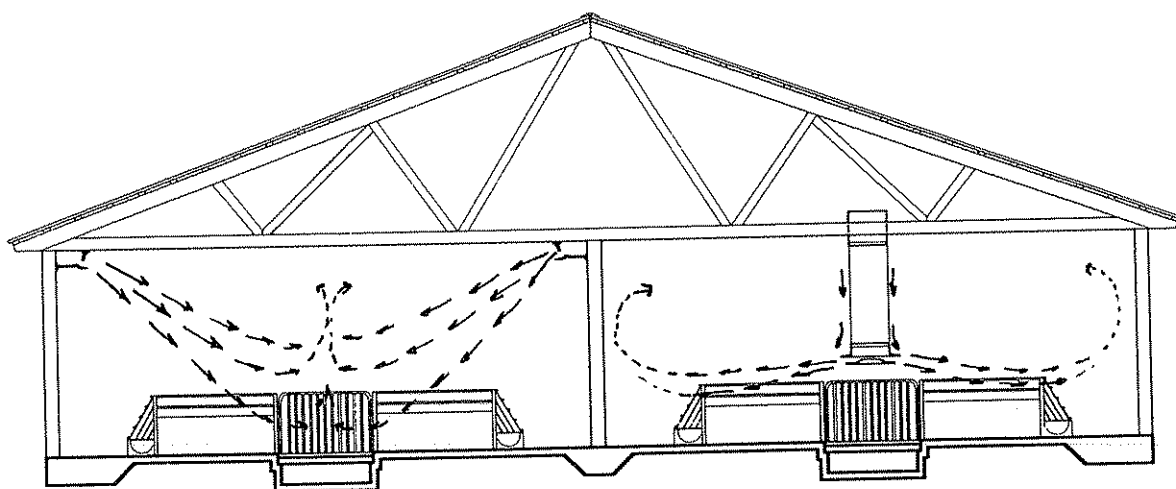
Vid nästan samtliga tillfällen då luft rörelser studerades gick minst en stegfläkt per avdelning. Stalltemperaturen var med andra ord flera grader över börvärdet. Detta innebär att följande resonemang om kall och varm väderlek avser tilluftstemperaturer mellan 10 och 30 °C.

Luft rörelsestudien visar tydligt att tilluftens väg till boxens liggyta är mycket kort med X-donen. Fördelningen sker lågt vilket var målet se figur 19. Vid kallare väderlek, stor differens mellan stalltemperatur och utetemperatur (Δt), hade tilluften en något brantare bana mot liggytan, se figur 19. Riktigt varma dagar, litet Δt , var luft rörelsen betydligt planare och nådde aldrig ner till liggytan, se figur 32. Densitetsskillnaden mellan tilluften och stalluften minskar med mindre Δt . De naturliga luft rörelserna från djuren

verkade bära upp tilluften när Δt var litet. Detta bekräftas av Sällvik (1979) som visar att tilluften kastas betydligt längre in i lokalen med litet Δt jämfört med ett stort.



Figur 19. Pilarna illustrerar luftens rörelse genom de båda stallavdelningarna när det är kallt ute. Längre pilar innebär kraftigare luftström.



Figur 20. Pilarna illustrerar luftens rörelse genom de båda stallavdelningarna när det är varmt ute. Längre pilar innebär kraftigare luftström.

S-donen visade liknande resultat som X-donen. När tilluften var kall föll den i en brant bana ner mot foderträget och främre delen av liggytan, se figur 19. När Δt minskade ökade lufrörelserna längre in i stallet, se figur 32. När luckorna till S-donen var helt öppna pekade de cirka 45° ner mot liggytan i boxarna. Detta gav ganska kraftig luftström riktad direkt mot liggytan. Med normal slaglängd på spjällmotorn är denna

inställning inte möjlig utan luckorna brukar stå i ett horisontellt läge vid max lucköppning.

Jämfört med S-donen antogs X-donets lokala fördelning av tilluften över liggytorna orsaka större temperaturdifferens mellan box- och medeltemperatur i stallet. Luftrörelsestudierna antydde dock att skillnaden mellan S- och X-donet borde avta med lägre Δt .

För att jämföra resultaten från mätningarna av temperaturfördelningen krävdes en referenstemperatur som speglar medeltemperaturen i stallet. Hädanefter kommer referenstemperaturen därför att kallas för stalltemperatur (ST). Stalltemperaturen beräknades genom medelvärdet av mätpunkt 7 (P7) och frånluftstemperaturen (FT). Motivet till att använda dessa mätpunkter var följande:

- Placeringen medförde att de följde temperaturfluktuationerna på liknande sätt och att de var tämligen opåverkade av ökat ventilationsflöde, se bilaga 13-14. P7 satt förhållandevis långt från tilluftsdonen i både test- och referensavdelningen.
- En ökning av stalltemperaturen speglades direkt av mätvärdena, vilket t. ex. uteslöt utetemperaturen som referens på grund av systemets tröghet.
- Frånluftens temperatur mättes med en annan typ av datalogger varför det var önskvärt att inkludera minst ett av termoelementens mätvärden för att utjämna eventuella skillnader mellan mätkropparnas funktion.
- Det viktiga för studien var att studera temperaturförhållanden i boxen varför ingen av dessa mätpunkter användes

Variationen mellan mätvärdena från termoelementen och Danelko multilogger vid olika temperaturer var ej känd. Det faktum att samma utrustning använts i båda avdelningarna bör dock minska risken för allvarliga felkällor.

Differensen mellan var och en av de sex mätpunkterna och stalltemperaturen utgör underlagen för diagrammen i bilaga 3-4. För att underlätta databearbetningen har de cirka 10 000 värdena som varje mätpunkt producerat reducerats till en fjärdedel genom att beräkna medelvärden för fyra registreringar omfattande 40 minuter. Mätdata där differensen mellan stalltemperaturen och tilluftstemperaturen är mindre än 4 °C har exkluderats. Motivet till detta är att byggnadens värmelagring verkade påverka mätvärdena. Exempelvis uppmättes högre tilluftstemperatur än frånluftstemperatur vid flera tillfällen, se bilaga 3-4 (diagram 8).

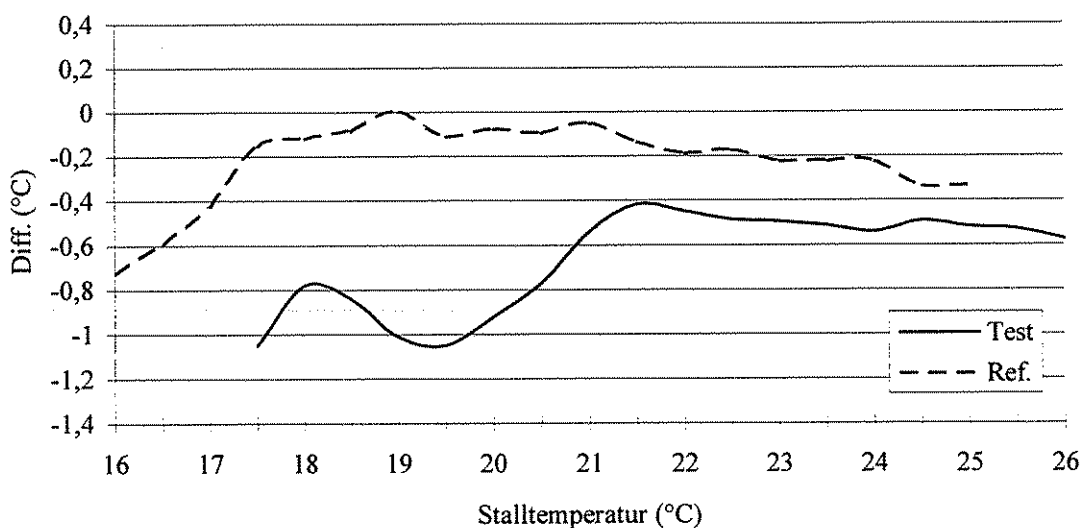
För att jämföra resultaten från de beräknade temperaturdifferenserna har mätpunkterna i respektive stallavdelning delats in i fyra zoner.

- Bakre delen av boxen, närmast gödselgången. Denna mätzon omfattas av mätpunkt P1 och P5.
- Främre delen av boxen, mot fodertråget. Mätpunkt P2 och P6 omfattas av denna zon.
- Under tak, denna zon berör mätpunkt P3. P7 har exkluderats eftersom den används för att beräkna stalltemperaturen.
- Över boxen, en sammanslagning av bakre och främre zonen. P1, P2, P5 och P6.

Indelningen av zonerna baserar sig delvis på lufrörelsestudien. I testavdelningen sker den kraftigaste lufrörelsen i boxens bakre del och svagare i den främre. Referensavdelningen visar motsatt resultat.

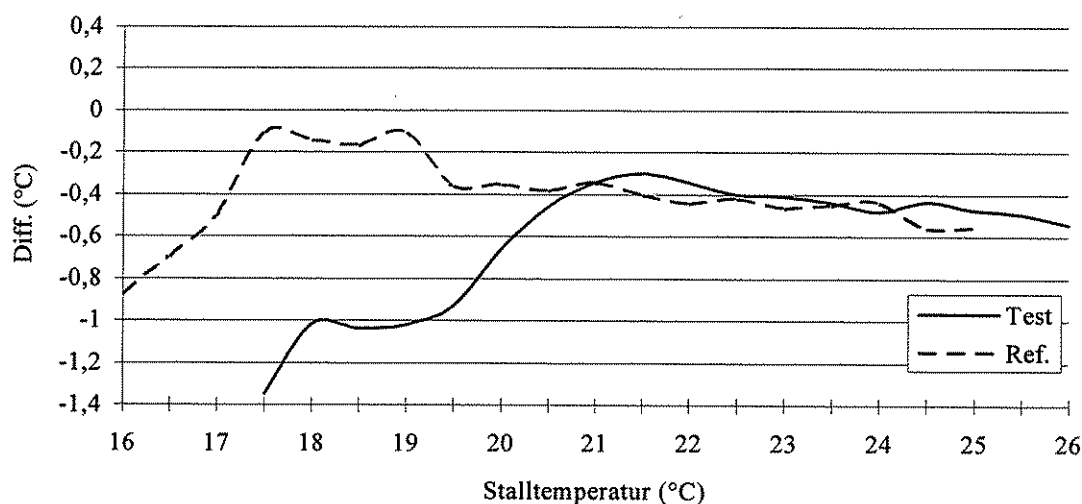
Temperaturdifferenserna har plottats som en funktion av stalltemperaturen och redovisas i diagrammen nedan. Eftersom temperaturmätningarna i referensstallets frånluftsfläkt inte fungerade de sista två försöksveckorna är dataunderlaget från den perioden inte med.

Figur 21 visar hur temperaturdifferensen i försöksboxarnas bakre del förhåller sig till referenstemperaturen. När stalltemperaturen ligger i intervallet 17-20,5 °C är differensen i genomsnitt 0,7 °C större i testavdelningen. Vid en stalltemperatur strax över 20,5 är skillnaden omkring 0,3 °C.



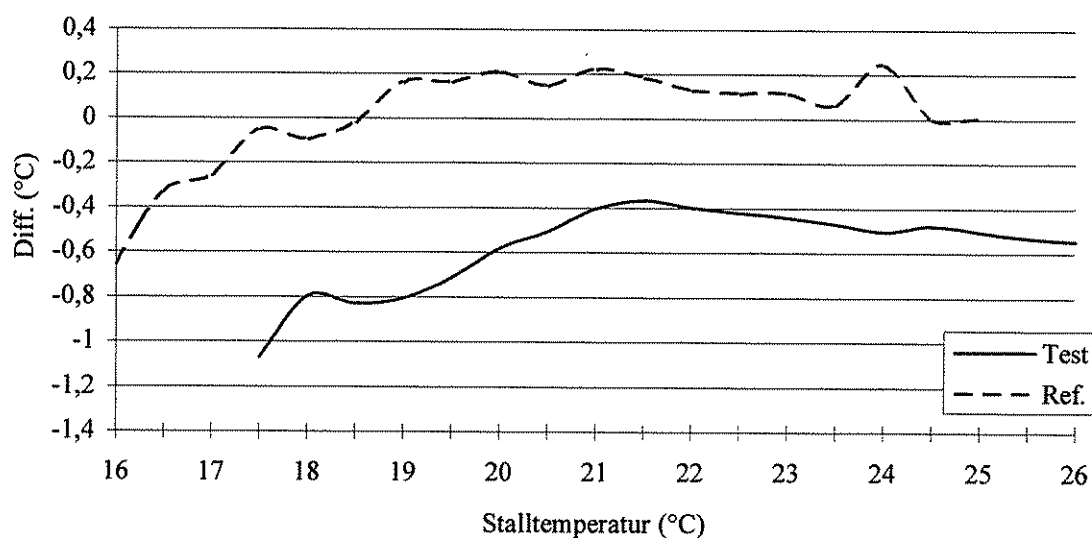
Figur 21. Temperaturdifferensen, $((P1+P5)/2)-ST$, mellan boxradens bakre del och stalltemperaturen i respektive avdelning.

Figur 22 visar motsvarande diagram för den främre delen av försöksboxarna. Vid en stalltemperatur på 17-20 °C är det i genomsnitt 0,6 °C kallare över boxarna i testavdelningen. Därefter föreligger ingen skillnad mellan avdelningarna.



Figur 22. Temperaturdifferensen, $((P2+P6)/2)-ST$, mellan boxradens främre del och stalltemperaturen i respektive avdelning.

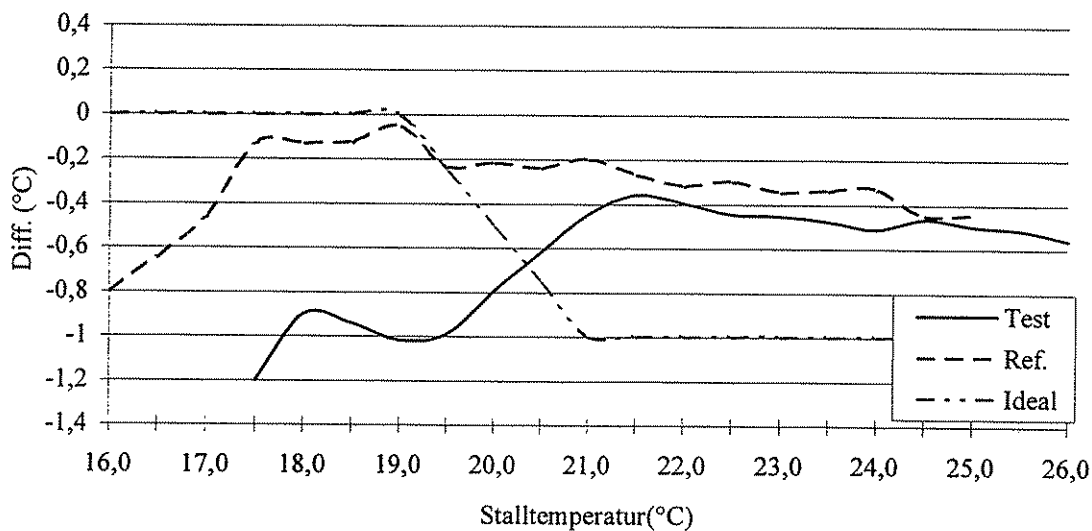
Figur 23 visas differenserna för mätpunkterna under tak. Skillnaden mellan de båda avdelningarna ligger mellan 0,5 och 0,8 °C. Förklaringen till den stora temperatursänkningen i testavdelningen är P3:s placering. Den hängdes nära textilväven på tilluftsdonet, se bilaga 1-2. Den diffusa lufrörelsen genom väven och strålnings-temperaturen från den kalla ytan på väven påverkade troligen mätgivaren och orsakade en lokal temperatursänkning även under tak, se figur 23. Eftersom detta var den enda punkten som användes för jämförelsen är resultatet förmodligen inte representativt för temperaturer vid taket i övrigt.



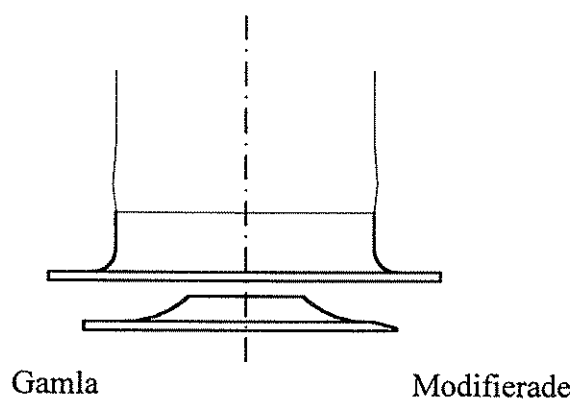
Figur 23. Temperaturdifferensen, $P3-ST$, mellan temperaturen under taket och stalltemperaturen i respektive avdelning

Temperaturskillnaden vid mätpunkterna närmast över boxarna (P1, P2, P5 och P6) visas i figur 24. I intervallet 17-20,5 °C är det cirka 0,6 °C kallare över testavdelningens boxar. Skillnaden krymper sedan till 0,1 °C. Eftersom endast fyra mätpunkter användes för att mäta temperaturen över boxarna är resultatet en grov uppskattning. Enligt bilaga 4 påverkades P1 och P2 betydligt mer av tilluften än P5 och P6, vilket förklaras med placeringen av mätgivarna, se bilaga 1-2.

Kurvan kallad "ideal" är det teoretiskt önskade och delvis förväntade beteendet hos X-donet. Innan bottenplattan öppnas föreligger ingen temperaturdifferens. Vid 19 °C börjar den lokala temperatursänkningen och slutar vid 21 °C när plattan öppnats helt. Efter denna punkt vore det önskvärt att differensen skulle kvarstå enligt figur 24.



Figur 24. Temperaturdifferensen mellan temperaturen över boxarna, $((P1 + P2 + P5 + P6)/4 - RT)$, och stalltemperaturen för respektive avdelning. Idealkurvan visar det teoretiskt önskade resultatet.

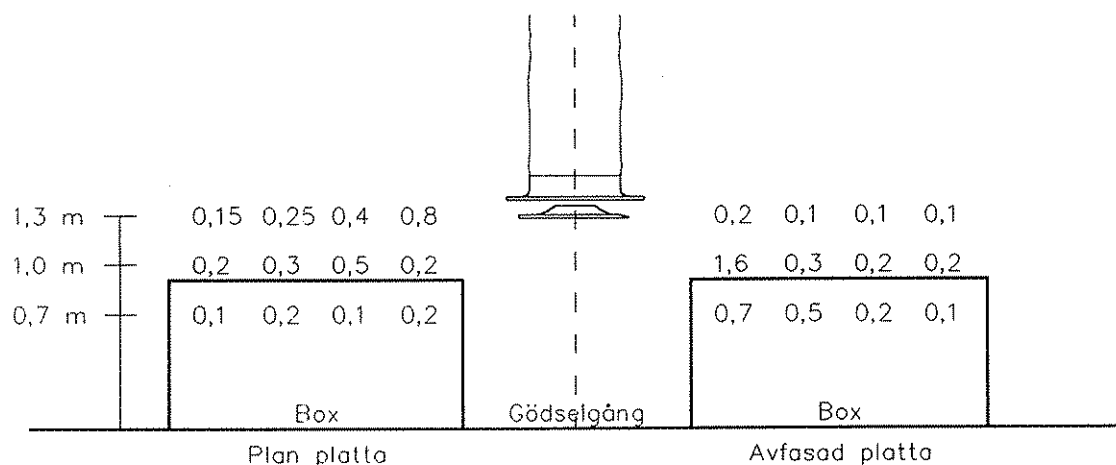


Figur 25. Skillnaden mellan den gamla och den modifierade bottenplattan.

Målet med att öppna bottenplattan i nedvinschat läge var att öka lufthastigheten över liggytan. I testavdelningen kunde konstateras att den kraftigaste luftströrelsen passerade

en bit över grisarna, 0,9-1,2 m. På grisnivå var luftströmlarna svagare. Vid lägre Δt minskade luftströmlarna över liggytan liksom den lokala temperatursänkningen över boxarna. För att åstadkomma en förbättring modifierades en bottenplatta på prov. Ytterkanten på den gamla bottenplattan verkade styra upp luftströmlarna. Kanten fasades därför av något och diametern minskades lite, se figur 25.

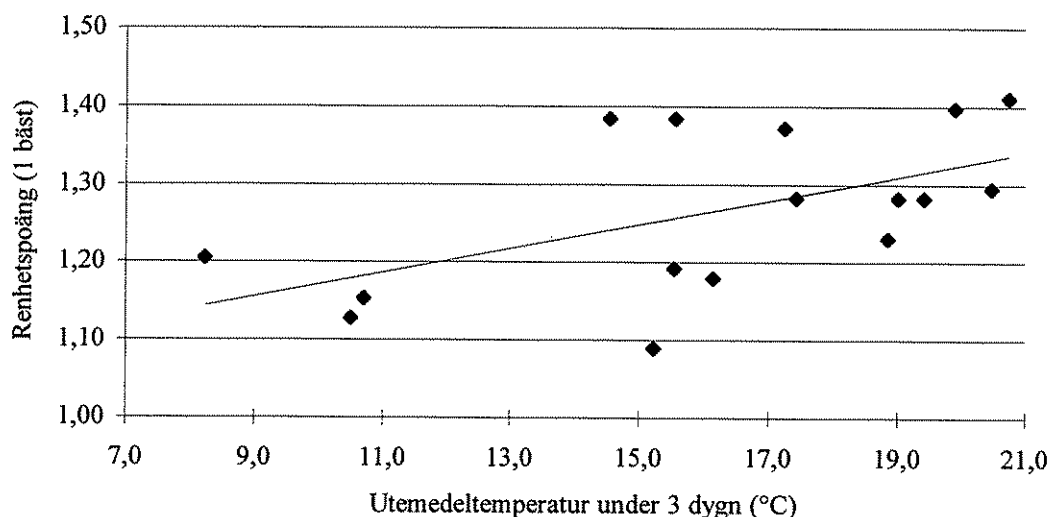
Studien av den modifierade bottenplattan omfattas inte av någon systematisk utvärdering. Det verkar dock som att möjligheterna till kraftigare luftströmlar i djurens uppehållszon ökar i, se figur 26.



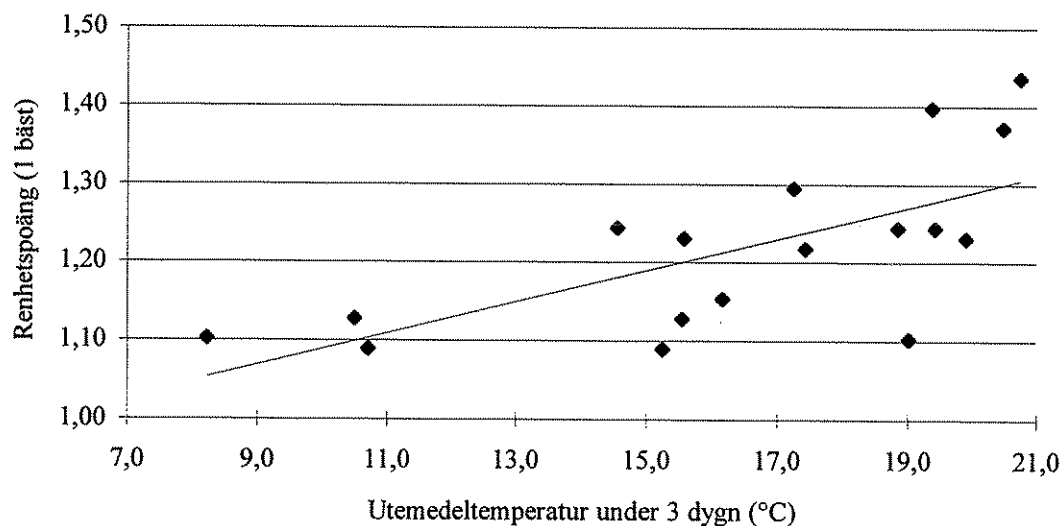
Figur 26. Jämförelse av lufthastigheter (m/s) mellan den gamla och den modifierade bottenplattan till X-donet.

Djurens renhet och boxhygien

Box- och djurhygien förväntades vara bättre i testavdelningen med tanke på luftförelser och temperaturfördelning. Renheten vid varje mättillfälle påverkades av väderleken under de närmast föregående dygna. För att jämföra de båda avdelningarna visar därför figur 21-30 hur box- och djurhygien förhåller sig till den genomsnittliga utetemperaturen under de senaste 3 dygna före mättillfället. Till mätvärdena har en linjär regressionslinje anpassats enligt minsta kvadratmetoden. Ett värde ur figur 21 har exkluderats från beräkningen. Värde var 2,25 vid 19,5 °C.

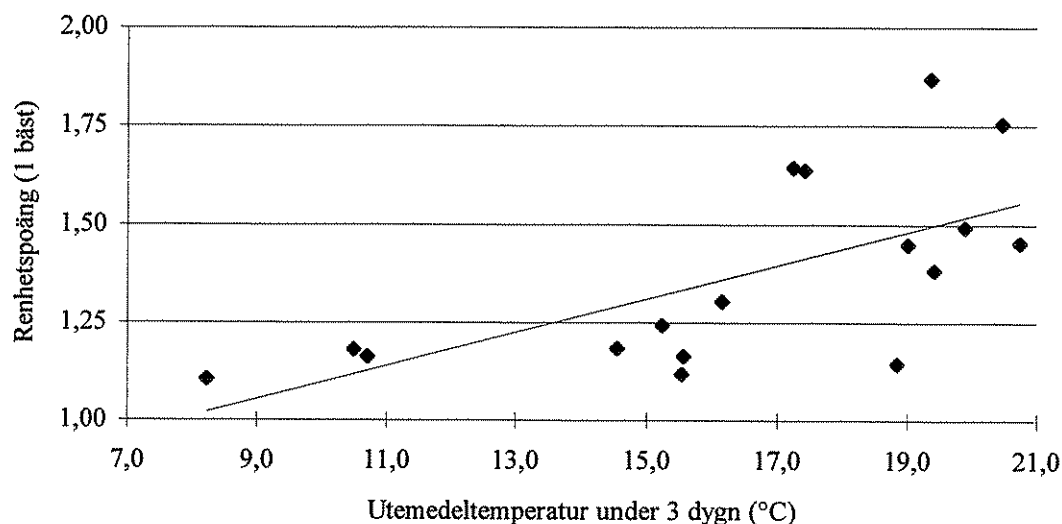


Figur 27. Boxarnas renhet i referensavdelningen som en funktion av dygnsmedeltemperaturen ute under de 3 senaste dygna före mättillfället.

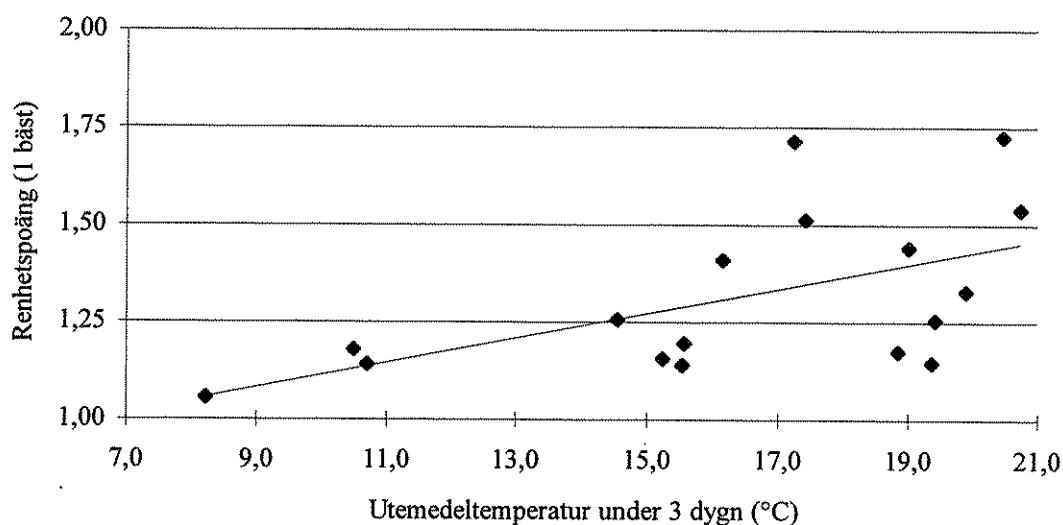


Figur 28. Boxarnas renhet i teststallet som en funktion av dygnsmedeltemperaturen ute under de 3 senaste dygna före mättillfället.

Renheten i boxarna verkade vara något bättre i testavdelningen, se figur 21 och 22. Skillnaderna är dock ej signifikanta ($p>0,05$). Figur 29 och 30 visar djurens renhet. Resultatet ger motsvarande bild av hygien, något bättre i testavdelningen men ej signifikant ($p>0,05$).



Figur 29. Djurens renhet i referensavdelningen som en funktion av dygnsmedeltemperaturen ute under 3 dygn.

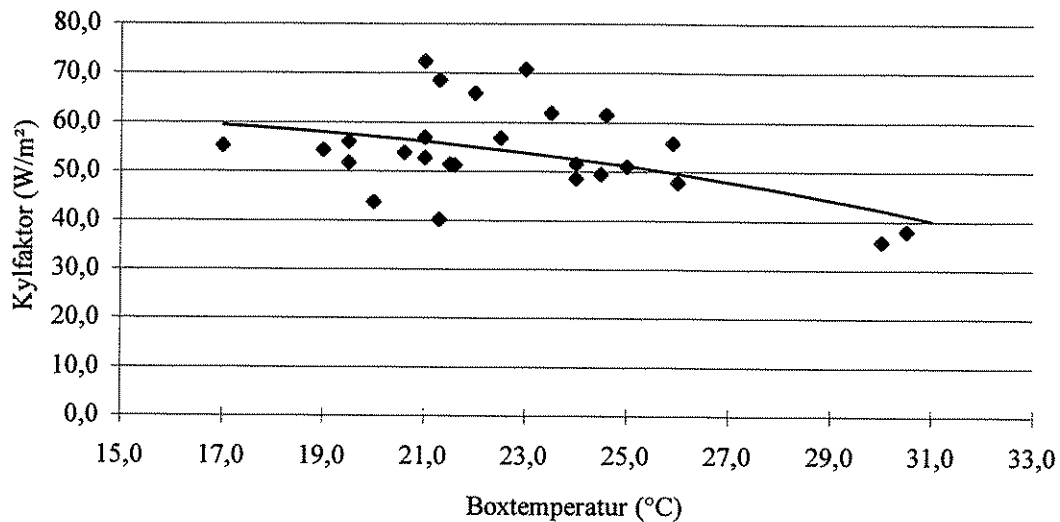


Figur 30. Djurens renhet i testavdelningen som en funktion av dygnsmedeltemperaturen ute under 3 dygn.

Lufthastighetsmätningar, beräkning av kylfaktor

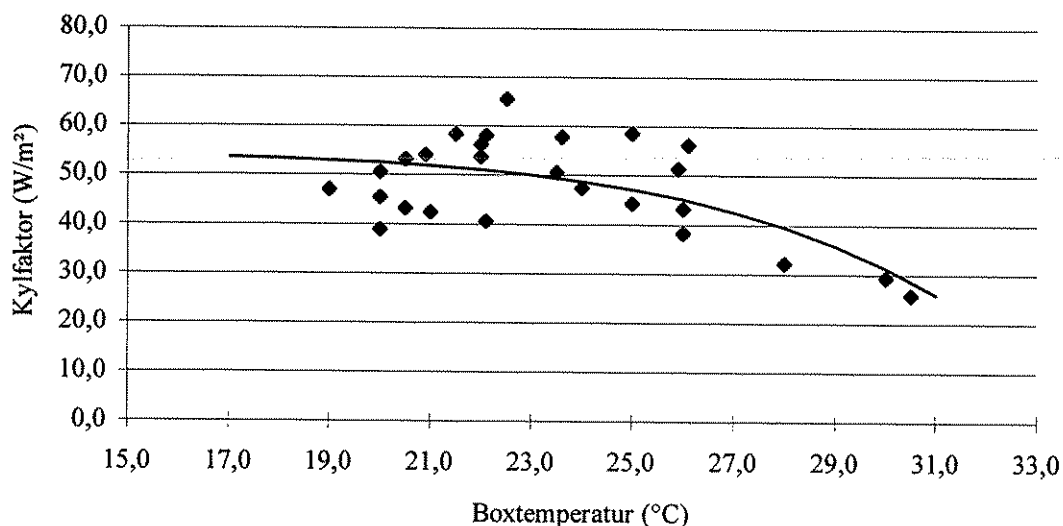
Genom att använda en modell som beskriver klimatet kring grisarna kan en jämförelse mellan olika temperatur- och lufthastighetsmätningar göras. I det här fallet har kylfaktorn (Sällvik och Walberg, 1984) använts som mått. Hypotesen var att X-donet kunde tillfredsställa grisarna behov med avseende på kylfaktorn.

För att beräkna kylfaktorn krävs vetskap om hudtemperatur, lufttemperatur och lufthastighet, $\psi_c = (g_s - g_x)10\sqrt{v}$ (ekvation 19). Under varje gårdsbesök mättes dessa parametrar. Vid varje tillfälle som lufthastigheten mättes erhöles 19 (21 med gödselgången) mätvärden per avdelning. Mätningarna över gödselgången har exkluderats för dessa beräkningar eftersom endast kylningen över liggytan jämförs. Ett medelvärde för de 19 mätningarna ligger till grund för beräkning av kylfaktorn i respektive avdelning för varje enskilt gårdsbesök.



Figur 31. Beräknad kylfaktor över liggytan i referensavdelningen vid olika boxtemperaturer.

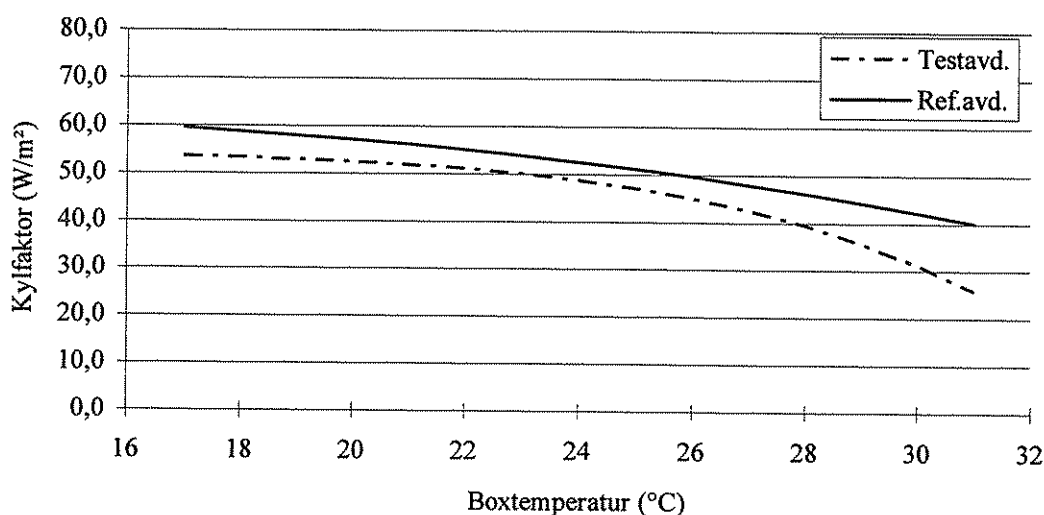
Genom att använda minsta kvadratmetoden har en kurva anpassats till mätvärdena. Figur 8 visar kylfaktorn i referensavdelning. Kurvan antyder att kylningen minskar med stigande temperatur.



Figur 32. Beräknad kylfaktor över liggytan i testavdelningen vid olika boxtemperaturer.

Figur 32 visar motsvarande diagram för testavdelningen. Värdena har beräknats på samma sätt. Kurvanpassningen visar samma mönster som för referensavdelningen dock något flackare inledning och brantare avslutning.

Kurvorna för kylfaktorn som en funktion av olika boxtemperaturer för båda stallavdelningarna visas i figur 33. Skillnaderna i kylfaktor är små och att inget av tilluftsdonen ger den rekommendation på 60-80 W/m² som Sällvik och Walberg (1984) redovisar.



Figur 33. Kylfaktorn som en funktion av boxtemperaturen för de båda stallavdelningarna.

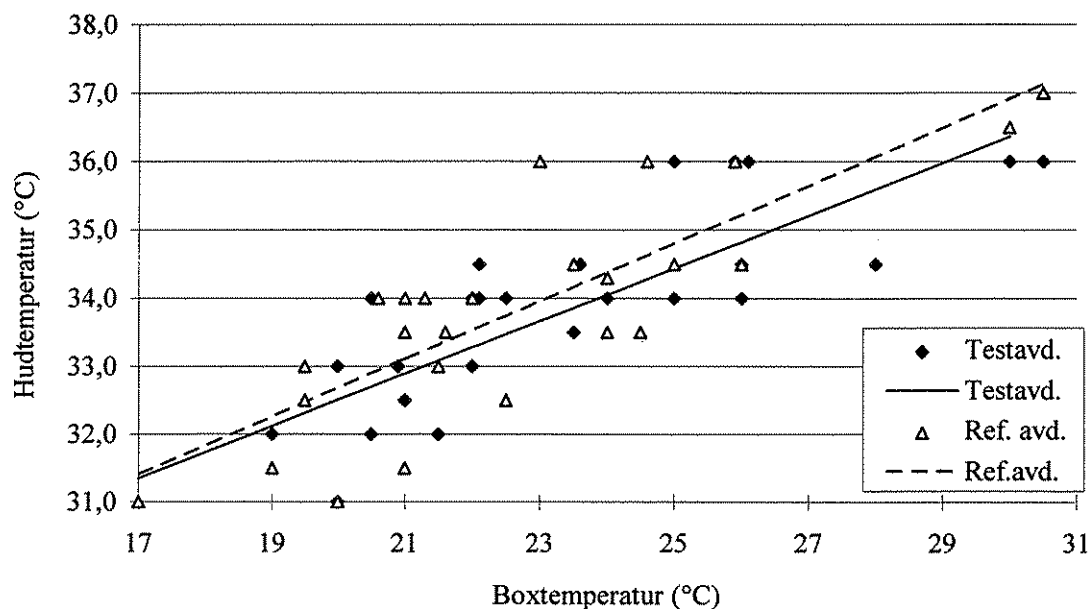
Yttemperaturen på huden varierar med avkylningen. Ju mer djuret kyles desto kallare blir hudytan. Genom att jämföra hudtemperaturen som en funktion av boxtemperaturen för de båda avdelningarna kan skillnader i avkylning upptäckas. Resultatet redovisas i figur 19. En linjär regressionslinje har anpassats till mätvärdena för respektive avdelning, se figur 19. Resultatet stämmer väl överens med en sammanställning gjord av Christiaens (1993). Där redovisas en hudtemperatur på 31,5 °C vid 17 °C i luften och 37 °C vid 31 °C i lufttemperatur.

Den lilla skillnaden i hudtemperatur vid höga boxtemperaturer antyder att avkylningen i testavdelningen är något större. Effekten av den lägre hudtemperaturen i testavdelningen kan beräknas genom att använda analogin med Ohms lag om värmeledning, enligt ekvation 20.

$$\psi = R_t(\vartheta_b - \vartheta_a) \quad (20)$$

Vid en boxtemperatur på 25 °C är hudtemperaturen 0,4 °C lägre i testavdelningen, se figur 34. Värmemotståndet i kroppsvävnaden vid den temperaturen på luften kan antas

vara minimalt. Enligt Sällvik (1994) innebär detta omkring $0,05 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$. Detta ger en skillnad i avkylning motsvarande $0,4/0,05 = 8 \text{ W/m}^2$. Skillnaden blir större vid högre boxtemperaturer.



Figur 34. Hudtemperaturen som en funktion av boxtemperaturen i de båda stallavdelningarna.

Lufthastighetsmätningar över gödselgången

Mätningarna av lufthastigheten över gödselgången visade att den var högre i testavdelningen, i medeltal $0,26 \text{ m/s}$ jämfört med referensavdelningens $0,19 \text{ m/s}$. Detta upplevdes som en resurs för att öka lufthastigheten över liggytan. För att ta till vara denna rörelseenergi och föra över den till lufrörelserna över liggytan monterades en liten luftstyrning (vinkel) av polyuretan på luftfördelaren till X-donet, se bilaga 12. Styrningen reducerade lufthastigheten till i princip noll över gödselgången vilket framförallt verkade öka lufthastigheten över liggytans främre del. Några noggrannare studier av detta har dock ej genomförts eftersom luftstyrningen inte monterades vid försöksboxarna.

Ventilationsstyrning

Undertrycket i stallet varierar beroende på vilka fläktsteg som går. För att upptäcka eventuella avvikelser mellan avdelningarnas ventilationsreglering mättes differenstrycket mellan stallavdelningarna och skullen. Bilaga 6 respektive 8 illustrerar hur stalltemperaturen och differenstrycket varierar under en 14 dagarsperiod. Det är tydligt hur ventilationen ökar vid stigande stalltemperatur. Bilaga 7 och 9 visar hur differenstrycket och stalltemperaturen följer varandra i de båda avdelningarna under hela perioden 960731-960924. Några större avvikelser mellan stallavdelningarna har ej iakttagits.

Ventilationseffektivitet och ventilationskapacitet

X-donets utformning antogs öka ventilationseffektiviteten över liggytorna. Mätningarna av koldioxidhalten för att beräkna ventilationseffektiviteten i boxarna och under taket i de båda avdelningarna gav dock inget entydigt resultat. Värdena på koldioxidmätaren stabiliserades aldrig, vandrade ± 100 ppm. Mätningarna användes enbart för att bestämma den genomsnittliga koldioxidhalten i hela stallet.

För att jämförelsen mellan S-donen och X-donen skulle vara rättvis krävdes att ventilationskapaciteten var lika stor i de båda avdelningarna. För jämförelsens skull redovisas först de dimensionerande flödena enligt Svensk standard (1992).

För sommarventilationen antas utetemperaturen vara $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ och stalltemperaturen fyra grader högre. Varje avdelning har plats för 260 grisar, á 110 kg. Maxflödet beräknas enligt ekvation 21. Den fria värmeproduktionen (P_{fi}) är 145 W/djur och c_p är $0,33\text{ Wh/(m}^3\text{K)}$ vid en stalltemperatur på $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$q_{max} = \frac{P_{fi}}{\Delta\theta \cdot c_p} \quad (21)$$

Enligt ekvation 21 blir sommarventilationen: $q_{max} = \frac{260 \cdot 145}{4 \cdot 0,33} \approx 29000\text{ m}^3/\text{h}$

För vinterförhållanden ges på samma sätt enligt Svensk standard (1992); utetemperatur $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, innetemperatur $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativ luftfuktighet 75 %. Grisarnas vikt för minventilationsflödet antas vara 30 kg och antalet detsamma som för sommaren. Koldioxid- och fuktproduktionen per djur blir med detta 40 g/h respektive 22 l/h . Fukt- och koldioxidventilationen beräknas enligt ekvation 22 och 23. Det högsta värdet antas.

$$q_f = \frac{F_{iv} \cdot 100}{\Phi_{iv} \cdot X_{iv} - \Phi_{uv} \cdot X_{uv}} \cdot \frac{1}{\rho} \quad (22)$$

$$q_k = \frac{CO_{2prod}}{3000 - 330} \quad (23)$$

$$\text{Ekvation 22 ger: } q_f = \frac{40 \cdot 260 \cdot 100}{75 \cdot 11,5 - 90 \cdot 1,03} \cdot \frac{1}{1,21} \approx 1100 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Ekvation 23 ger: } q_k = \frac{22 \cdot 260}{3000 - 330} \approx 2100 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Den dimensionerande minventilationen blir således 2100 m³/h.

En indirekt mätmetod för att uppskatta de verkliga ventilationsflödena redovisas nedan:

För att beräkna ventilationsflödet utifrån koldioxidmätningarna används ekvation 23. Vid ett flertal tillfällen mättes koldioxidhalten i båda avdelningarna med hjälp av en digital koldioxidmätare. Medelvärde av de fem mätpunkterna används för att beräkna ventilationsflödet. Genom att ersätta den maximalt tillåtna koldioxidhalten, enligt ekvation 23, kan ventilationskapaciteten beräknas, se tabell 11. Produktionen av koldioxid har hämtats från Pedersen *et al* (1996) och är ett medelvärde under dygnet, 0,185 l/Wh av den totala värmeproduktionen. Enligt Sällvik (pers. med. 1996) kan produktionen dagtid vara 10-15 % högre än detta värde. Beräkningarna enligt tabell 11 baserar sig på dygnsmedelproduktionen.

Tabell 11. Beräknad ventilationskapacitet (CO₂-balans) vid de olika mättillfällena av koldioxidhalten.

Referensavd.			Testavd.	
Djurvikt (kg)	CO ₂ (ppm)	Ventilationskap. (m ³ /h)	CO ₂ (ppm)	Ventilationskap. (m ³ /h)
70	1203	11600	1394	9500
75	1198	11600	1397	9500
80	1433	9200	1356	9800
Medel		10800		9600

Ventilationsflödet för fuktbalans beräknas utifrån samma resonemang som koldioxidbalansen men värdena är hämtade ur Svensk standard (1992). Fuktbalans beräknas enligt ekvation 22. Den relativa luftfuktigheten mättes kontinuerligt under hela försöksperioden i både stallavdelningar och ute. Tabell 12 visar det beräknade ventilationsflödet vid tre olika tillfällen. Eftersom fuktproduktionen varierar med omgivningstemperaturen har denna räknats om för aktuell stalltemperatur (Svensk standard, 1992).

Tabell 12. Beräknad ventilationskapacitet utifrån fuktbalansen i stallen.

Djurvikt (kg)	Ute		Referensavd.		Vent. kap. (m ³ /h)	Testavd.		Vent. kap. (m ³ /h)
	θ _x (°C)	RF (%)	θ _x (°C)	RF (%)		θ _x (°C)	RF (%)	
70-90	19,5	55	23,8	51	17800	25,6	48	15700
70-90	20,1	69	23,5	62	23500	25,3	61	15500
70-90	21,1	66	24,6	60	23200	27,0	58	13600
Medel					21500			14900

Mätningen av koldioxidhalten och luftfuktigheten tyder på att ventilationen är underdimensionerad (behov 29 000 m³/h). Enligt Ehrlemark (pers. med. 1996) bör koldioxidhalten ligga mellan 600 och 800 ppm under en varm sommardag i ett stall med rätt dimensionerad ventilation. Orsaken till det låga flödet kan vara att några av frånluftstrummorna är försedda med gamla fläktvingar med lägre kapacitet än nya. Fläktarnas tryckkänslighet kan också vara en bidragande orsak. Otätheter kring de nya frånluftstrummorna kan ha effekt på flödet eftersom ingen tätning applicerades vid monteringen. Läckaget den vägen passerar aldrig stallet utan transporteras utmed trumman och direkt till fläkten.

DISKUSSION

Ventilationssystem i dagens svinstallar utformas inte enbart för att byta en viss mängd luft under en bestämd tid, utan även för att erbjuda djuren termisk komfort. Målet är att under olika omständigheter förse grisarna med ett termoneutralt klimat vilket är en förutsättning till hög produktion och bra hygien. Kunskap om grisarnas behov vad avser klimatet och hur värmeutbyte med omgivningen skapar goda förutsättningar för att lyckas.

Värmeflödet mellan djuren och omgivningen förklaras med fysikaliska termer som strålning, ledning, konvektion och evaporation. Det termiska klimatet kan på så vis beskrivas i form av luftens temperatur, fuktighet, hastighet och omgivningens strålningstemperaturer. För att göra beskrivningen fullständig krävs också kunskap om andra faktorer som t.ex. golvtyp, strö, utfodringsintensitet, gruppstorlek, beteende, kroppsvikt och värmemotståndet i kroppsvävnaden.

För att beskriva djurens termiska samspel med omgivningen finns fysikaliska modeller. Svårigheten med att konstruera en modell är bland annat att det handlar om biologiska varelser. Eftersom det termiska klimatet förändras hela tiden är djurens förmåga till anpassning stor. De antaganden som författaren till varje modell gör, begränsar dess giltighet och möjligheterna till en korrekt jämförelse med andra modeller. Den genetiska skillnaden mellan raser i olika länder gör också att resultat och jämförelser kan vara missvisande.

Problemet vid utformning av tilluftsdon är att de under mycket varierande temperatur och flödesförhållanden skall erbjuda djuren ett behagligt klimat. Det idealiska tilluftsdonet existerar inte men X-donet är ett försök att förbättra möjligheterna att klara både låga och höga temperaturer.

Vid lägre stalltemperaturer och ett litet ventilationsflöde ger X-donet med en stängd bottenplatta låga lufthastigheter och en diffus fördelning av tilluft. Högre temperaturer och ett stort ventilationsflöde ger med en öppnad bottenplatta höga lufthastigheter och en fördelning av tilluften direkt över liggytan. Det idealiska beteendet på X-donet med avseende på hur det regleras vore en temperaturfördelning där skillnaden i temperaturen mellan golv och tak är liten när det är kallare. Med stigande stalltemperatur öppnas bottenplattan steglöst och temperaturskiktningen ökar. Vilket skulle resultera i lägre temperaturer över boxarna än under taket. När bottenplattan öppnats helt stabiliseras sedan temperaturskiktningen, se idealkurvan figur 24. Möjligheten att på detta sätt kyla konvektivt (sänka temperaturen och höja lufthastigheten) med tilluft över boxarna är positivt under varma förhållande.

Med den teoretiska temperaturfördelningskurvan i åtanke går den uppmätta i motsatt riktning, enligt figur 24. Resultatet från testavdelningen visar en stor sänkning vid lägre

temperaturer (17-21 °C) och en mindre sänkning vid högre. Kvartskanalerna visar samma tendens dock med generellt lägre temperatursänkning.

Möjligheterna att styra ner tilluften mot djurens liggyta ökar ju större temperaturdifferensen mellan tilluft och stalluft är, eftersom kall luft är tyngre än varm. Sommartid när densitetsskillnaden mellan till- och stalluft är liten och volymflödet är stort kan djurens närvaro också bromsa den nedåtriktade lufrörelsen. Dels orsakar djuren en svag uppåtriktad lufrörelse genom sin värmeavgivning och dels måste den gamla luften i boxen kunna ta vägen någonstans. Risker är stora att en tilluft "studsar" mot luftkudden som bildas av djuren.

Lufrörelsestudierna visar liksom temperaturmätningarna att tilluften blåser direkt in över liggytan när bottenplattan öppnas. Den kalla tilluften faller mot liggytan. Detta väcker tanken att problem kan uppstå vintertid. Registrering av lufrörelser vid kall väderlek visar att den kalla tilluften faller utmed textilväven och sprids diffust av luftfördelaren. Möjligheten att hissa upp luftfördelarna cirka 1,5 meter borde ge förutsättningar för tilluften att blandas upp med stalluften innan den når djuren.

När stalltemperaturen låg kring börvärdet var differensen mellan temperaturen över boxarna och stalltemperaturen störst. Detta kan bero på att bottenplattan öppnats för tidigt (19 °C). Differensen (Δt) mellan stalltemperaturen och tilluftstemperaturen var betydligt större när stalltemperaturen var 19 °C jämfört med 20 °C, se bilaga 4, diagram 4. Genom att ändra regleringen så att bottenplattan öppnar vid en högre temperatur borde detta problem delvis kunna lösas.

Under hela försöket var donet i maximalt nedsänkt läge. Vid kall väderlek skulle donet kunna hissas upp en bit och på så vis minska den lokala temperatursänkningen över boxen när stalltemperaturen ligger kring börvärdet. Ytterligare ett annat sätt att minska effekten av den kalla tilluften är att styra bottenplattans öppnande med tilluftstemperaturen istället för stalltemperaturen.

När det är som varmast och behovet är som störst minskar både temperaturskiktningen och lufrörelserna över liggytan. Den starkaste luftströmmen passerar över boxen. Förklaringen är att tilluften nu är varmare och inte faller mot golvet på samma sätt och skiktningen minskar. Möjligheterna till skiktning minskar också eftersom ventilationsflödet är mycket större och luften blandas mer. Detta bekräftas av tidigare studier av bland annat Sällvik (1979). När Δt är mindre än 12 °C kastas tilluften betydligt längre in i stallen än vid större Δt (Sällvik, 1979).

Beräkningarna av kylfaktorn tyder att avdelningarna är likvärdiga vad avser kylning av lufthastigheten. Hypotesen att X-donet kan tillfredsställa grisarnas behov med avseende på kylfaktorn förkastas eftersom rekommendationen på 60-80 W/m² (Sällvik & Walberg, 1984) aldrig uppnås. Resultatet bekräftar vad många påtalat tidigare gällande

möjligheten till kylning genom ökad lufthastighet utan hjälpfläktar. Under varma förhållanden är tilluftsarean i förhållande till flödet för stor för att erbjuda en hög lufthastighet över djuren.

Mätningarna av hudtemperaturen visar till skillnad från kylfaktorberäkningarna att avkylningen är större i testavdelningen än i referensavdelningen. Modellen med kylfaktorn är empirisk och har därför begränsad giltighet. Hudtemperaturen är ett säkrare mått på graden av avkylning eftersom värmeavgivningen mäts direkt oavsett om det är konvektion, ledning eller strålning. Trots att temperaturmätningarna var något osäkra bekräftas resultatet av renhetsstudien. Både liggyta och djur höll sig något renare i testavdelningen. Resultatet var inte signifikant men eventuellt speglar det effekten av ökad lokal kylning. Renheten i båda avdelningarna var för övrigt god delvis tack vare riklig tillgång till strö. En iakttagelse som gjordes i samband med detta var att en eller ett par kyligare dygn efter en varm period snabbt förbättrade hygien boxarna.

Som en kontroll på omgivningens strålningstemperaturen mättes också boxväggarnas ytemperatur vid vissa tillfällen. Skillnaden mellan strålningstemperaturen hos inredningen och luften var liten. Detta bekräftas av Sällvik (pers. med. 1996) som menar att ett rimligt antagande under varma förhållanden är att strålningstemperaturen sätts lika med stalltemperaturen.

Beräkning av ventilationskapaciteten utifrån givet klimat pekar på en ventilationskapacitet omkring 15 000 m³/h i testavdelningen och 20 000 m³/h i referensavdelningen. Genom att öka ventilationsflödet skulle möjligheterna till kylning med högre lufthastighet förbättras i båda avdelningarna. Luftflödena har erhållits genom indirekt mätmetod, koldioxidhalt och luftfuktighet, vilket är en ganska osäker metod. Det verkar dock som att ventilationskapaciteten är lägre i testavdelningen än i referensavdelningen. Flödet där motsvarar ungefär hälften av det dimensionerade.

Det lägre flödet i testavdelningen kan inte enbart förklaras med att X-donen skulle orsaka ett större tryckfall än S-donen, utan förklaringen är troligen att fläktkapaciteten inte är samma i avdelningarna. Kapaciteten på fläktarna med den äldre typen av fläktvingar varierar sannolikt.

SLUTSATSER

Efter försökets genomförande kan sägas att båda avdelningarna fungerat mycket bra. Den långsmala planlösningen gör dem tämligen lätta att ventileras och trots mycket varma dagar har hygien varit god. Studien av tilluftsdonen tyder på god funktion hos både kvartskanaler och X-don. Effekten av att öka ventilationskapaciteten borde dock vara större i testavdelningen eftersom luftinsläppet är närmare djuren. En ändring av konstruktionen vad avser bottenplattans fasning och diameter samt vinkeln för luftstyrning mot gödselgången bör ge ännu bättre effekt.

Fler studier av hur modifieringarna av X-donet och ett ökad ventilationsflöde påverkar de uppmätta egenskaperna bör göras. Både luftrörelser och lufthastighet samt funktionen under vinterförhållanden bör studeras för att bekräfta de iakttagelser som gjorts med detta försök.

Styrker dessa studier samma sak som tidigare framkommit kan X-donet bli ett konkurrenskraftigt alternativ till marknadens övriga tilluftsdon. Förmågan till temperaturskiktning och ökade luftrörelser i djurens uppehållszon under varma förhållanden är donets styrka.

Användningsområden för tilluftsdonet kan vara slaktsvinstallar samt dräktighets- och betäckningsavdelningar för suggor. Breda stallavdelningar kan vara ett intressant användningsområde där möjligheterna till jämn fördelning av tilluften är goda.

För framtida försök kan några rekommendationer ges:

- För att mäta ventilationseffektiviteten bör koldioxidhalterna mätas kontinuerligt på de olika mätpunkterna. Detta förbättrar möjligheterna till mer tillförlitliga värden.
- För att mäta temperaturfördelningen bör fler temperaturgivare användas för minska betydelsen av varje enskild givare och öka upplösningen (fler mätpunkter per volymsenhet).
- En indirekt mätmetod för att bestämma ventilationskapaciteten är osäker. Istället bör kapaciteten mätas direkt och kontinuerligt, exempelvis genom medroterande fläkthjul.

REFERENSER

Litteratur

- ASHRAE. 1989. *Handbook of fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating, and Airconditioning Engineers. Atlanta.
- Beckett, F. E. 1965. Effective temperature for evaluating or designing hog environments. *Transactions of the ASAE*, vol. 8, no. 2, s. 163-166.
- Berry, I. L., Shanklin, M. D., Johnson, H. D. 1964. Dairy shelter design: Based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Transactions of the ASAE*, vol. 7, no. 3, s. 329-331.
- Blaxter, K. 1989. *Energy metabolism in animals and man*. Cambridge university press, 336 s. Cambridge.
- Bond, T. E., Heitman, H., Kelly, Jr & C. F. 1965. Effects of increased air velocities on heat and moisture loss and growing of swine. *Transactions of the ASAE*, vol. 8, no. 2, s. 167-174.
- Bruce, J. M. & Clark, J. J. 1979. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. *Animal production*, 28, s. 353-369.
- Bruce, J. M. 1977. Conductive heat loss from the recumbent animal. *Farm building research and development studies*, 8, s. 9-15.
- Bruce, J. M. 1981. Ventilation and temperature control criteria for pigs. Ur: Clark, J. A. *Environmental aspects of housing for animal production*. Proceedings of 31st easter school, Nottingham university school of agriculture. s. 197-216. Butterworth, London.
- CIGR. 1984. *Report of working group on climatization of animal houses*. Aberdeen.
- CIGR. 1992. *2:nd report of working group on Climatization of animal houses*. Centre for climatization of animal houses-Advisory services, State university of Ghent, Ghent.
- Close, W. H. & Heavens, R. P. 1981. The effects of ambient temperature and air movement on heat loss from the pig. *Animal production*, 32, s. 75-84.

- Close, W. H. 1981. The climatic requirements of the pig. Ur: Clark, J. A. *Environmental aspects of housing for animal production*. Proceedings of 31st eastern school, Nottingham university school of agriculture, s. 149-166. Butterworth, London.
- Christiaens, J. P. A. 1993. *Kritische analyse van de wetenschappelijke methodes inzake klimaatbeheersing. Praktische toepassbaarheid op de varkensbedrijf*. Universiteit Gent. Faculteit landbouwkundige en toegepaste biologische wetenschappen, Vakgroep landbouwtechniek, 270 s. Gent.
- Christianson, L., Hahn, G. L., Meador, N. 1982. Swine performance model for summer conditions. *International journal of biometereology*, vol. 26 (2), s. 137-145.
- Ehrlemark, A. 1988. *Calculation of sensible heat and moisture loss from housed cattle using a heat balance model*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Rapport nr: 60, 48 s. Uppsala.
- Ehrlemark, A. 1991. *Heat and moisture dissipation from cattle- Measurements and simulation model*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Rapport nr: 77, 120 s. Uppsala.
- Esmay, M. L. 1978. *Principles of animal environment*. Textbook ed. AVI Publishing company, INC. Westport, Connecticut.
- Fanger, P. O. 1973. Assessment of man's thermal comfort in practice. *Journal of industrial medicine*, no. 30, s. 313-324.
- Fanger, P. O., Melikov, A. K., Hanzawa, H., Ring, J. 1988. Air turbulence and sensation of draught. *Energy and buildings*, vol. 12, s. 21-39.
- de la Farge, B. 1974. Using a "bioclimatic index" while studying the social behaviour of fattening pigs. *International pig veterinary society, 3:rd international congress*, s. C2:1-5.
- Fraser, D. 1985. Selection of bedded and unbedded areas by pigs in relation to environmental temperature and behaviour. *Applied animal behaviour science*, no. 14, s. 117-126.
- Geers, R., Goedseels, V., Parduyns, G., Vercruysse, G. 1986. The group postural behaviour of growing pigs in relation to air velocity, air and floor temperature. *Applied animal behaviour science*, no. 16, s. 353-362.

- Gunnarson, H. J., Butchbaker, A. F., Witz, R. L., Dinusson, W. E. 1967. Effect of air velocity, air temperature, and mean radiant temperature on performance of growing finishing swine. *Transactions of the ASAE*, vol. 10, no. 6. s. 715-722.
- Gustafsson, G. 1988. *Luft- och värmebalanser i djurstallar*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Rapport nr: 59, 385 s. Lund.
- Gustafsson, G. 1993. *Spårgasteknik som metod för att bestämma ventilationsn effektivitet och spridning av luftföroreningar i djurstallar*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Rapport nr: 84, 68 s. Lund.
- Hahn, G. L., Nienaber, J. A., DeShazer, J. A. 1987. Air temperature influences on swine performance and behaviour. *ASAE*, paper no. MCR 87-128.
- Hahn, G. L., Sällvik, K. 1979. Livestock compensatory performance influences on shelter criteria: A discussion of concepts. *ASAE paper*, no. 79-4016, St Joseph, Michigan.
- Hoff, S. J., Janni, K. A., Jacobson, L. D. 1993. Defining the newborn piglet's thermal environment with an effective environmental temperature. *ASAE paper*, no. 88-4004, vol 36, no. 1, s. 143-150.
- Holman, J. P. 1987. *Heat transfer*. 6:th ed. McGraw-Hill Book Company.
- Ingram, D. L. 1974. Heat loss and its control in pigs. Ur: Monteith, J. L., Mount, L. E. 1974. *Heat loss from animals and man*, s. 233-254. Butterworths, London, England.
- Jensen. 1993. *Djurens beteende och orsakerna till det*. LTs förlag, Stockholm.
- Jordbruksverket, 1993. Statens jordbruksverks föreskrifter om djurhållning inom lantbruket m.m. *Statens jordbruksverks författningssamling*, SJVFS 1993:129, Jönköping.
- McLean, J. A. 1973. Loss of heat by evaporation. Ur: Monteith, J. L., Mount, L. E. 1974. *Heat loss from animals and man*, s. 19-31. Butterworths, London, England.
- Morrison, S. R., Heitman, H., Givens, Jr & R. L. 1975. Effect of diurnal air temperature on growth and food conversion in pigs. *Animal production*, vol. 20, s. 287-291.
- Morrison, S. R., Mount, L. E. 1971. Adaption of growing pigs to changes in environmental temperature. *Animal production*, vol. 13, s. 51-57.

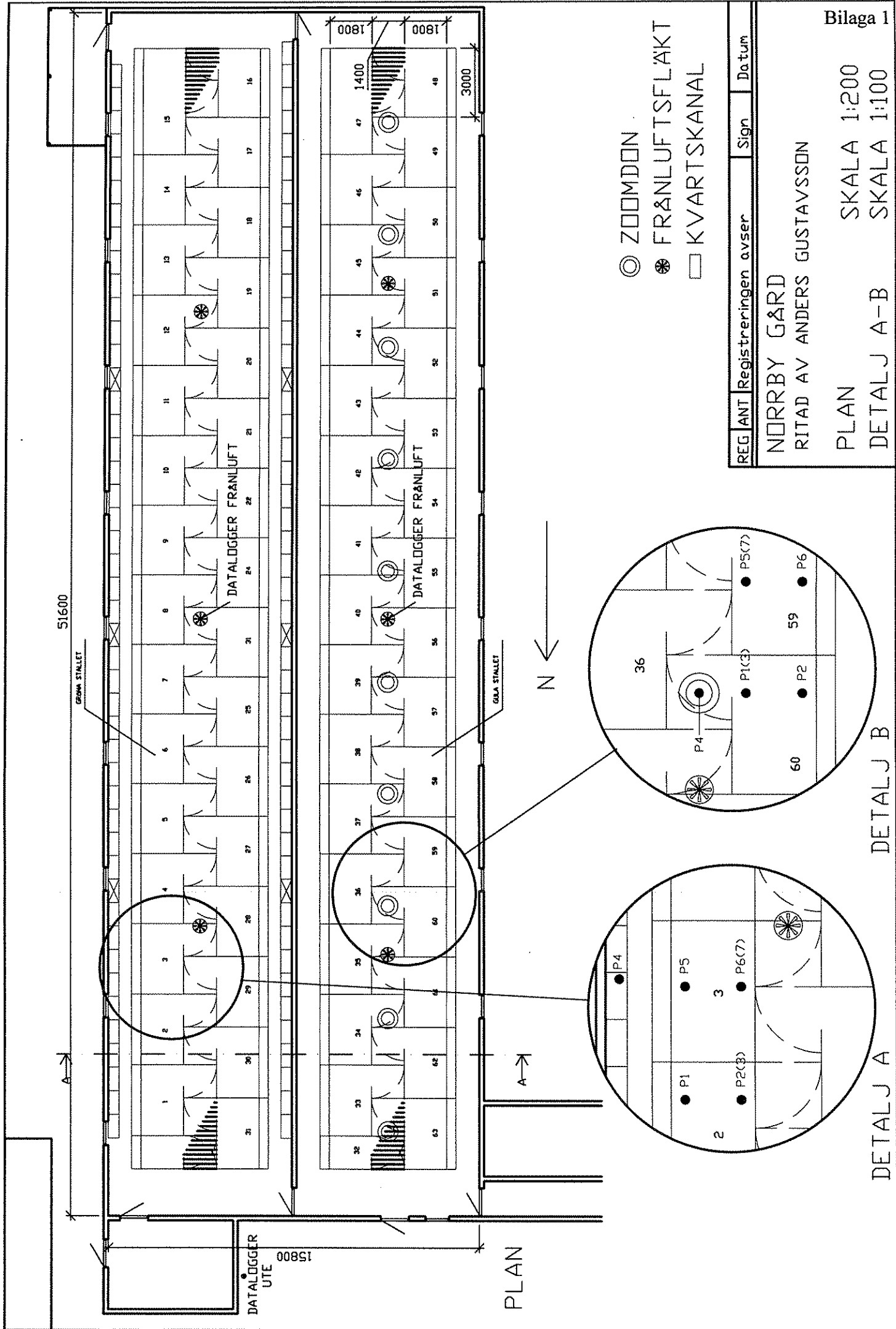
- Mount, L. E. & Ingram, D. L. 1965. The effects of ambient temperature and air movement on localized sensible heat-loss from pig. *Research in veterinary science*, nr. 6 (84). Cambridge.
- Mount, L. E. 1974. The concept of thermal neutrality. Ur: Monteith, J. L., Mount, L. E. 1974. *Heat loss from animals and man*, s. 233-254. Butterworths, London, England.
- Mount, L. E. 1975. The assessment of thermal environment in relation to pig production. *Livestock production science*, no. 2, s. 381-392. Amsterdam, Netherlands.
- Mount, L. E. 1977. The use of heat transfer coefficients in estimating sensible heat loss from the pig. *Animal production*, 25, s. 271-279.
- Mount, L. E. 1978. Heat transfer between animal and environment. *Proceedings of the nutrition society*, 37 (1), s. 21-27.
- Nienaber, J. A., Hahn, G. L., Yen, J. T. 1987. Thermal environment effects on growing-finishing swine, Part I-Growth, feed intake and heat production. *Transactions of the ASAE*, vol. 30, no. 6, s. 1772-1775.
- Ogilvie, J. R., Barrington, S. F. 1992. Incorporating some aspects of room air flow into performance standards. *ASAE*, paper no. 92-4046, 12 s.
- Pedersen A. S., Kristensen, B. 1977. Lufthastighedens indflydelse på slagtesvineproduktionen. *SBI-Landbrugsbyggeri 52, DLU-Beretning*, nr. 19. 24s.
- Pedersen, A. S. 1979. Lufthastigheds- og temperaturvariationers indflydelse på slagtesvinproduktionen. *Ugeskrift for Jordbrug*, nr: 47, s. 1151-1154.
- Pedersen, A. S., Petersen, E. S. 1976. Optimal temperatur og lufthastighed i slagtesvinestalde. *Ugeskrift for agronomer, hortonomer, forstkandidater og licentiater*, nr: 52, s. 1119-1123.
- Pedersen, J., Pedersen, S. 1979. *Staldklimateknik- isolering, ventilering, opvarming*. DSR forlag, Danmark.
- Pedersen, S., Phillips, V. R., Seedorf, J., Groot Koerkamp, P. W. G. 1996. *Comparison of heat, moisture and carbon dioxide balances for calculation of ventilation flow rates*, s. 1-13 (2-6). NJF-teknik-96, Århus.
- Randall, J. M. 1980. Selection of piggery ventilation systems and penning layouts based on the cooling effects of air speed and temperature. *Journal of agricultural engineering research*, 25, s. 169-187.

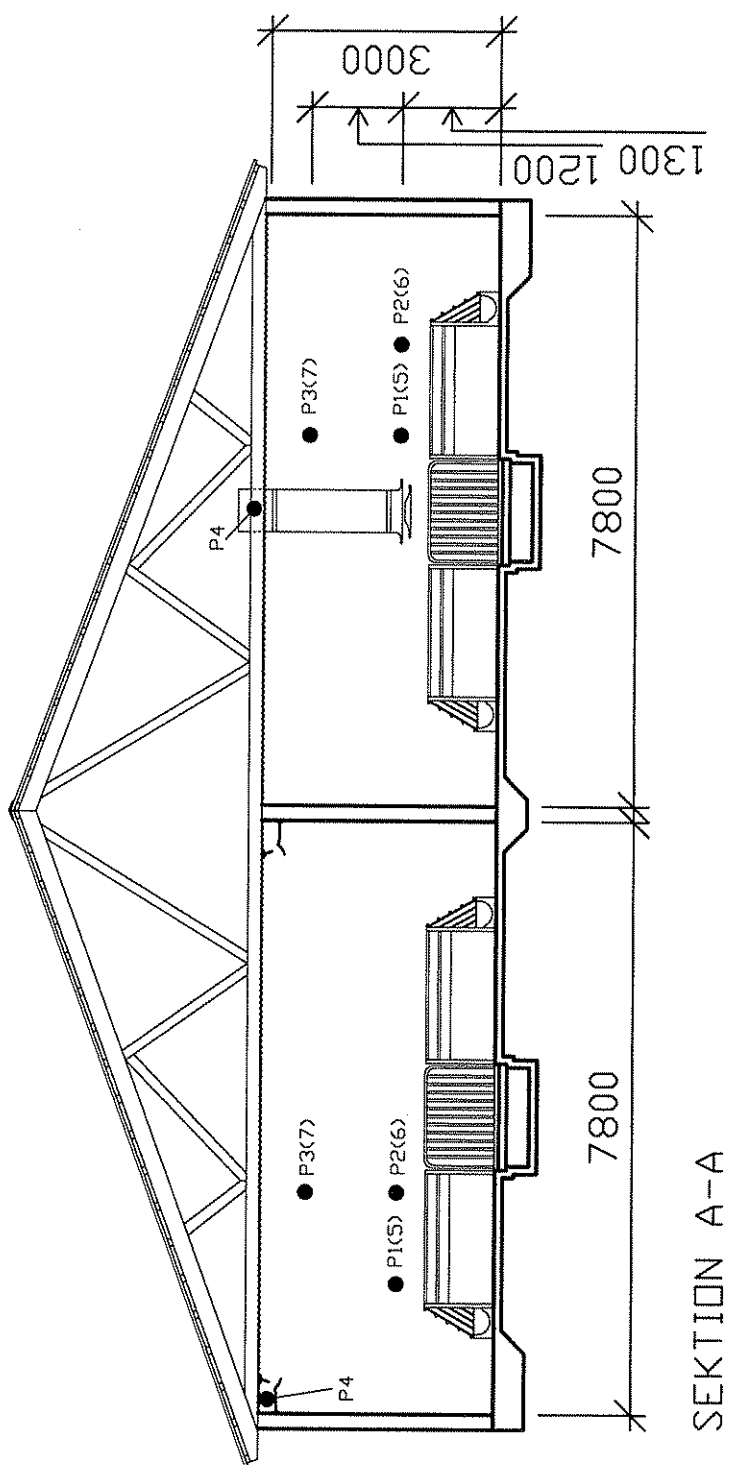
- Riskowski, G. L. & Bundy, D. S. 1988. Effect of air velocity and temperature on weanling pigs. *Livestock environment III*, Proceedings of the third international livestock environment symposium, s. 117-124, Canada.
- Rokicki, von E., Plonait, H., Reinhardt, H. J. 1973. Der Einfluß unterschiedlicher Luftgeschwindigkeit bei mittlerer und hoher Umgebungstemperatur auf Haut- und Körpertemperatur, Atem- und Herzfrequenz beim Schwein. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, no. 80, s. 173-196.
- Smith, A. T. 1994. Pig housing. Ur: Wathes, C. M. & Charles, D. R. 1994. *Livestock housing*. s. 273-304, Wallingford, United Kingdom.
- Statens maskinprovningar. Meddelande nr. 2766.
- Sterrenburg, P. & van Ouwerkerk, E. N. J. 1986. *Rekenmodel voor bepaling vande termische behaaglijkheidszone van varkens (BEZOVA)*. Instituut voor mechanisatie, arbeid en gebouwen, Waageningen.
- Svensk standard*. 1992. Standardiseringskommissionen i Sverige, Byggstandardisering, SS951050, utgåva 2, 17s.
- Sällvik, K. & Walberg, K. 1984. The effects of air velocity and temperature on the behaviour and growth of pigs. *Journal of agricultural engineering research*, nr: 30, s. 305-312.
- Sällvik, K. 1979. *Principles for mechanical exhaust ventilation systems in animal houses*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Rapport 8. Lund.
- Sällvik, K. 1994. *Husdjurens termiska närmiljö*, Undervisningskompendium, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, avdelningen för byggnadsvetenskap. Uppsala.
- Teter, N. C., DeShazer, J. A., Thompson, T. L. 1973. Operational characteristics of meat animals - part I: swine. *Transactions of the A.S.A.E.*, 16:157-159.
- Verstegen, M. W. A., Siegerink, A., van der Hel, W., Geers, R., Brandsma, C. 1987. Operant supplementary heating of pigs in relation to air velocity. *Journal of thermal biology*, vol. 12, no. 4, s. 257-261.
- Young, H. D. 1992. *University physics*, 8 th ed., 1356 s. World student series ed. Addison-Wesley publishing company, Inc. USA.

Personliga meddelanden

Ehrlemark, Anders. 1996 Agr. D. Sveaverken Agri AB, Eskilstuna.

Sällvik, Krister. 1996 Universitets lektor, docent. Sveriges lantbruksuniversitet,
Institutionen för lantbruksteknik, avdelningen för
byggnadsvetenskap, Uppsala.





REG	ANT	Registreringen avser	Sign	Datum
		NORRBY GÅRD		
		RITAD AV ANDERS GUSTAVSSON		
		SEKTION A-A	SKALA 1:100	

Diagram 1- Differens P1-Stalltemperatur

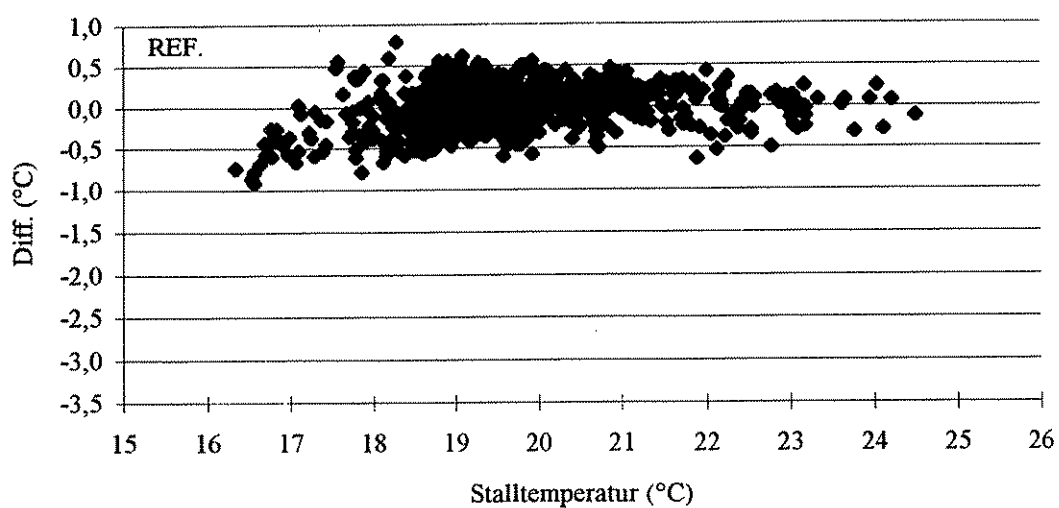


Diagram 2- Differens P2-Stalltemperatur

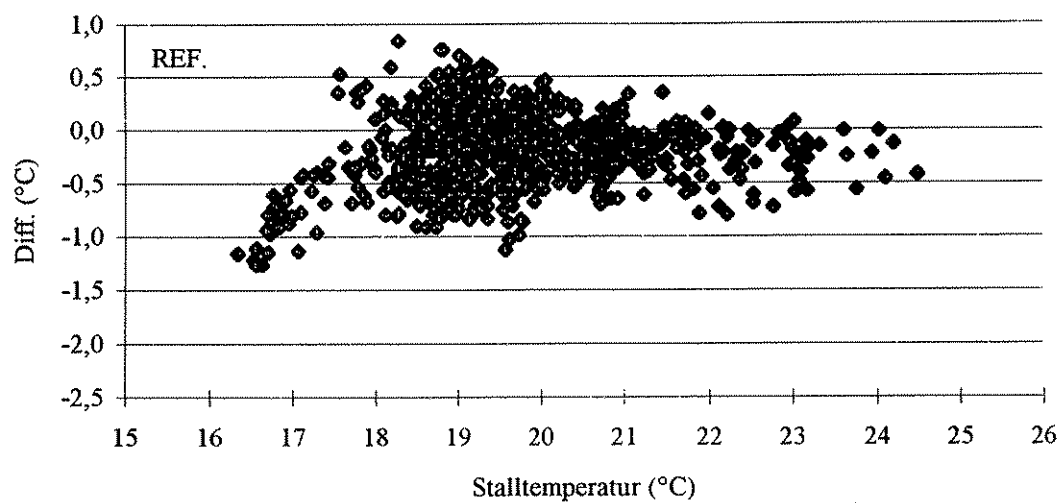


Diagram 3- Differens P3-Stalltemperatur

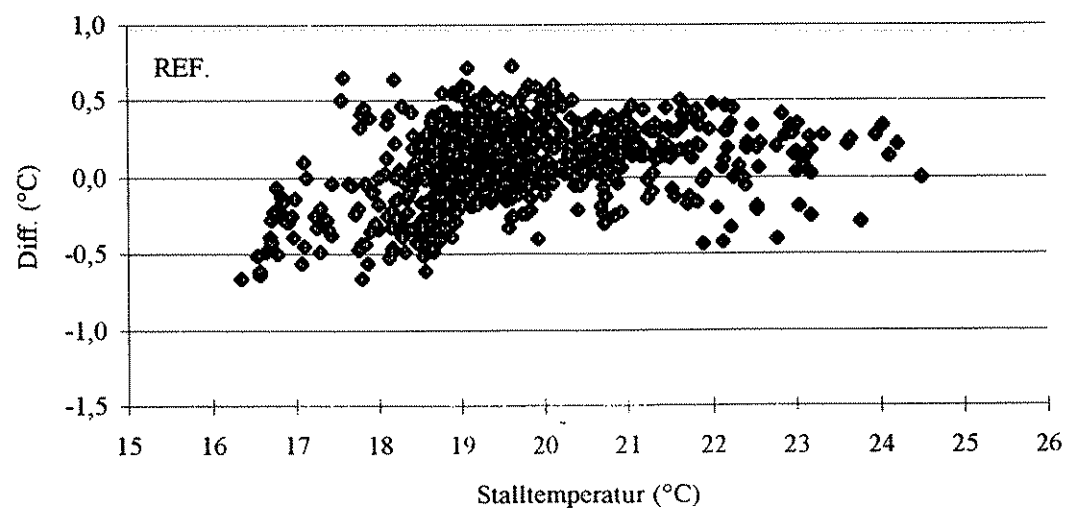


Diagram 4- Differens P4-Stalltemperatur

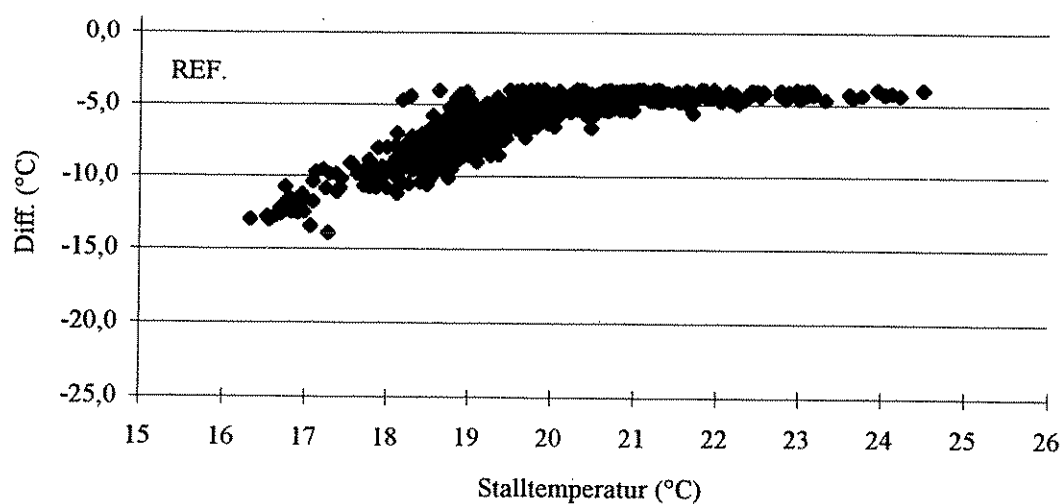


Diagram 5- Differens P5-Stalltemperatur

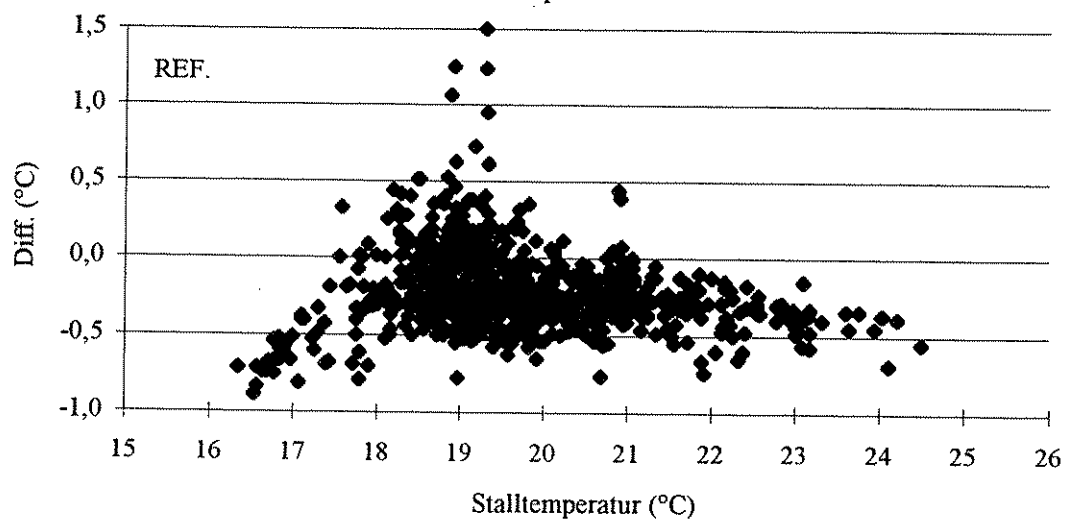


Diagram 6- Differens P6-Stalltemperatur

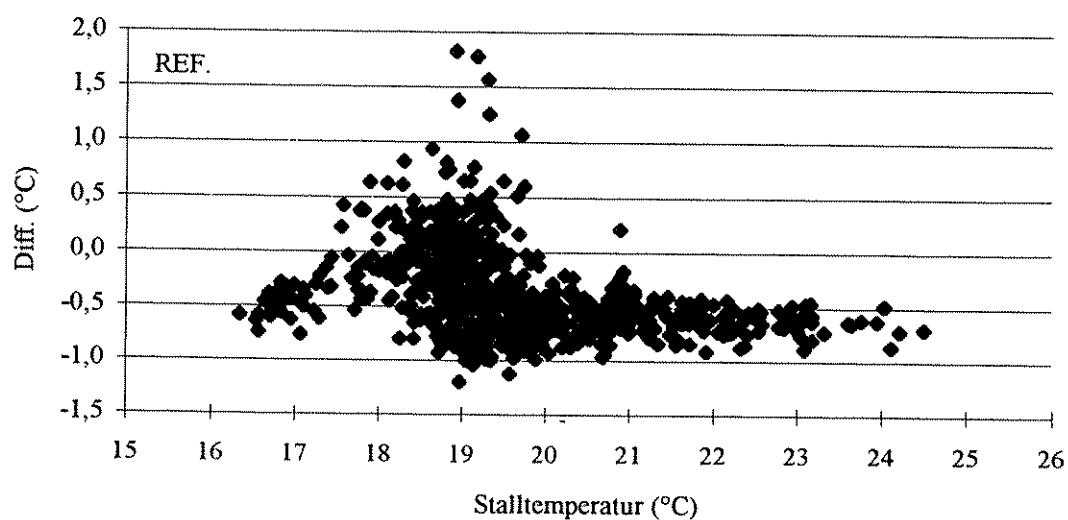


Diagram 7- Differens P7-Stalltemperatur

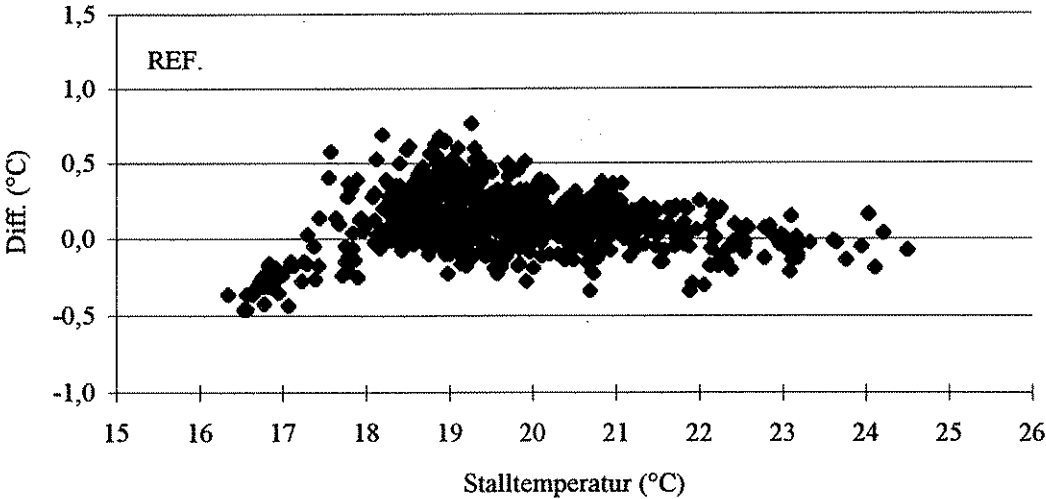


Diagram 8- Stalltemperatur-Tilluftstemperatur

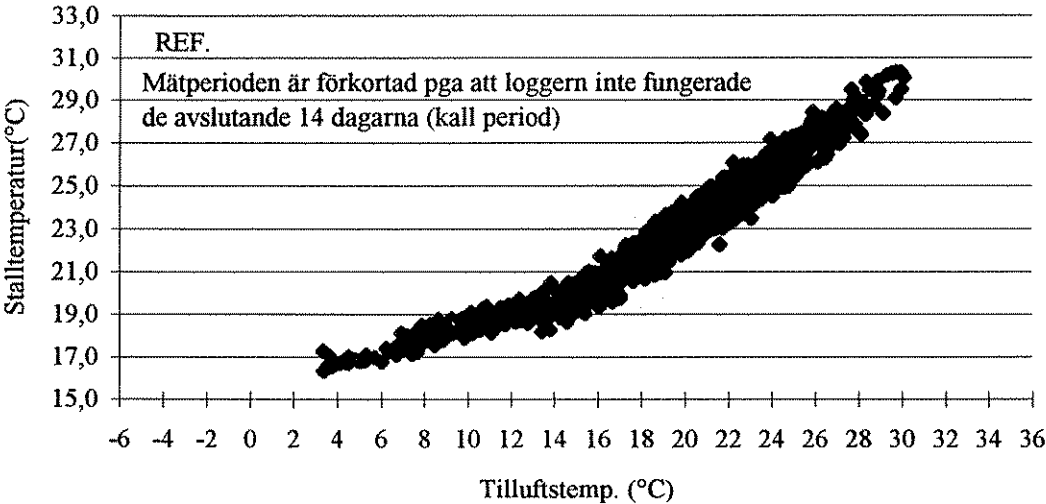


Diagram 1- Differens P1-Stalltemperatur

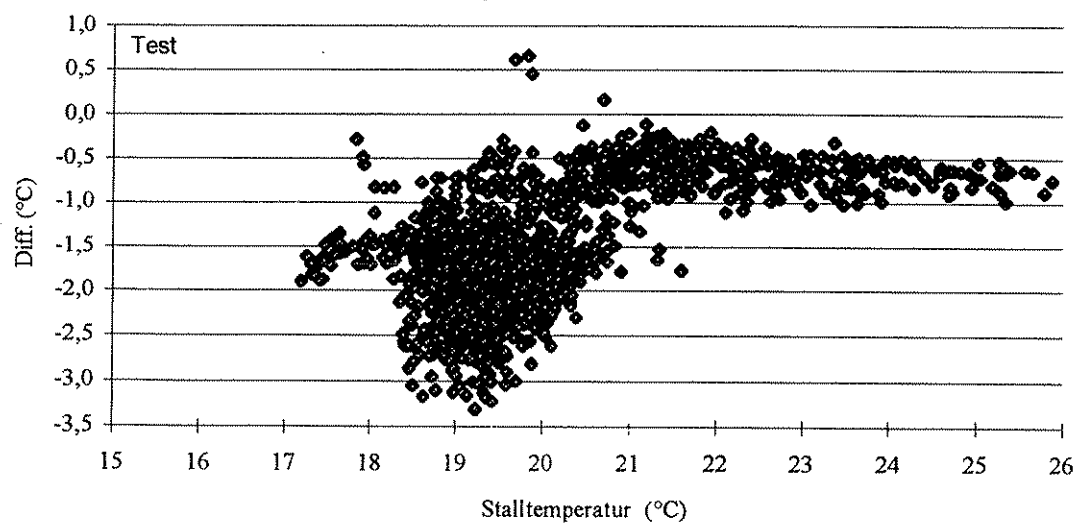


Diagram 2- Differens P2-Stalltemperatur

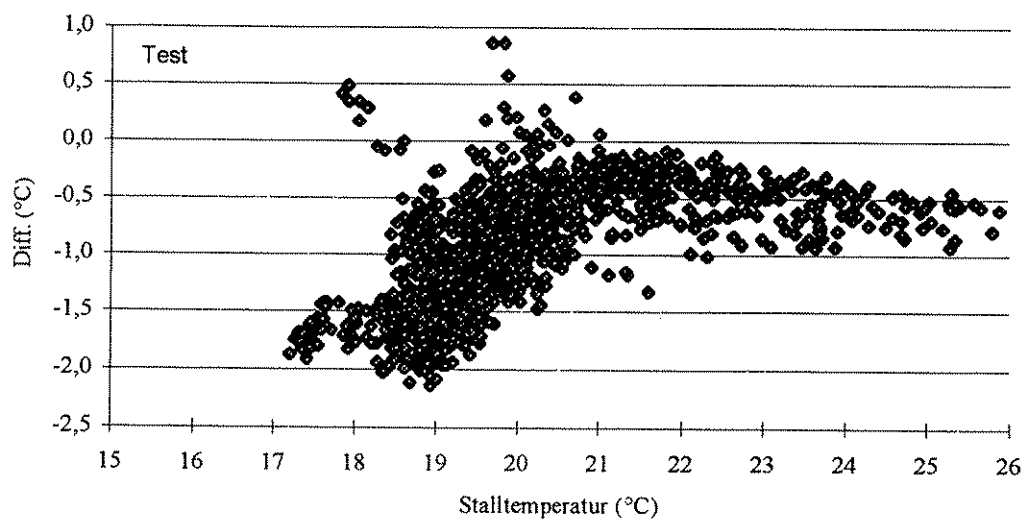


Diagram 3- Differens P3-Stalltemperatur

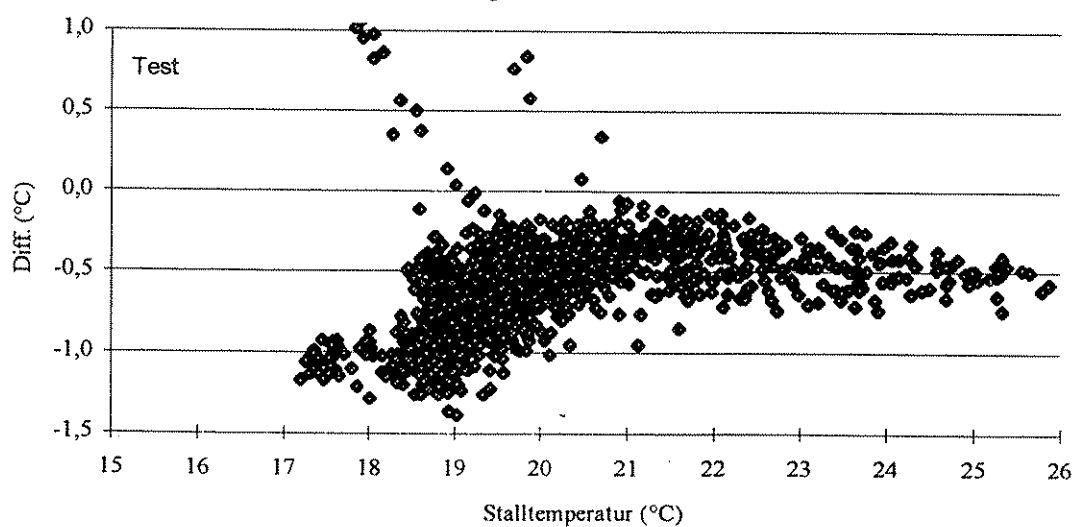


Diagram 4- Differens P4-Stalltemperatur

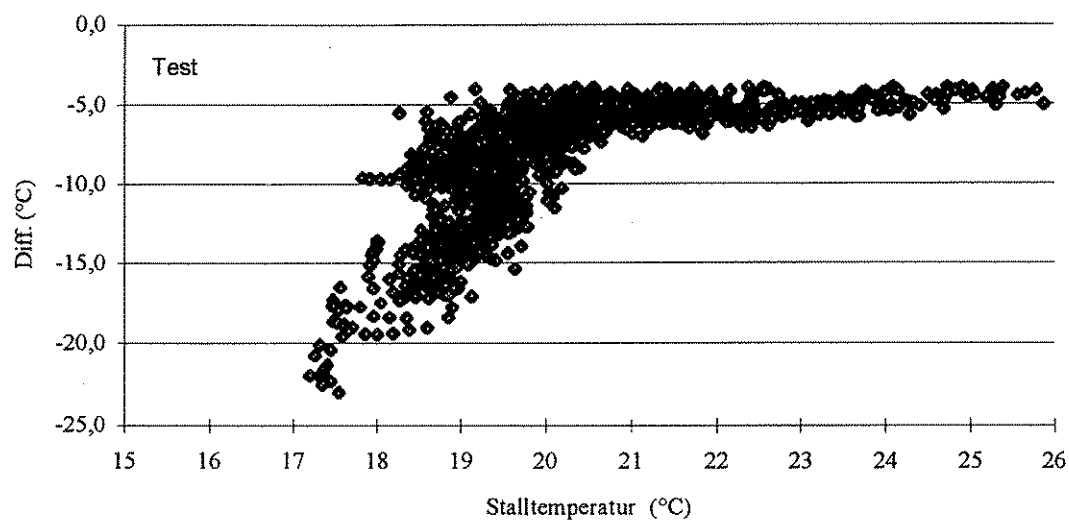


Diagram 5- Differens P5-Stalltemperatur

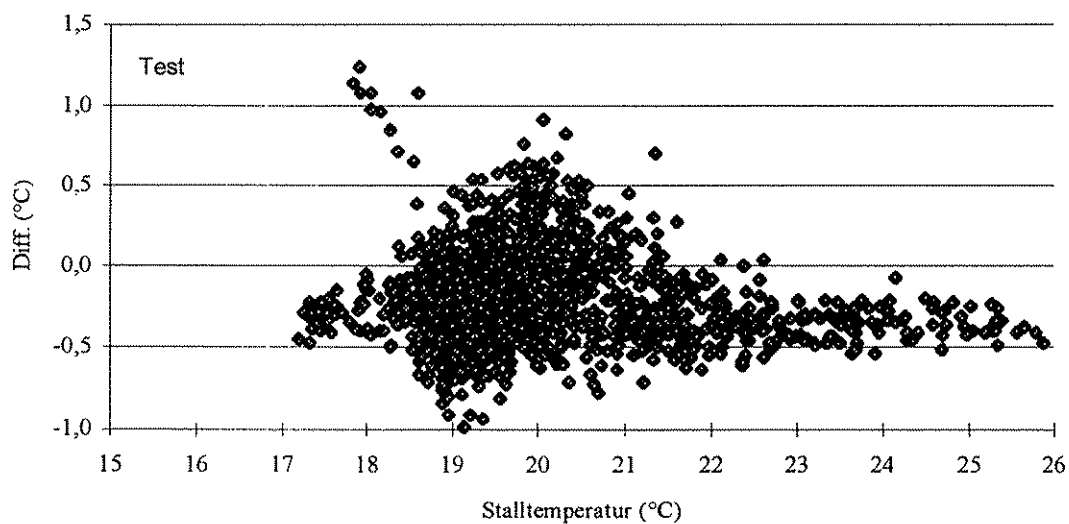


Diagram 6- Differens P6-Stalltemperatur

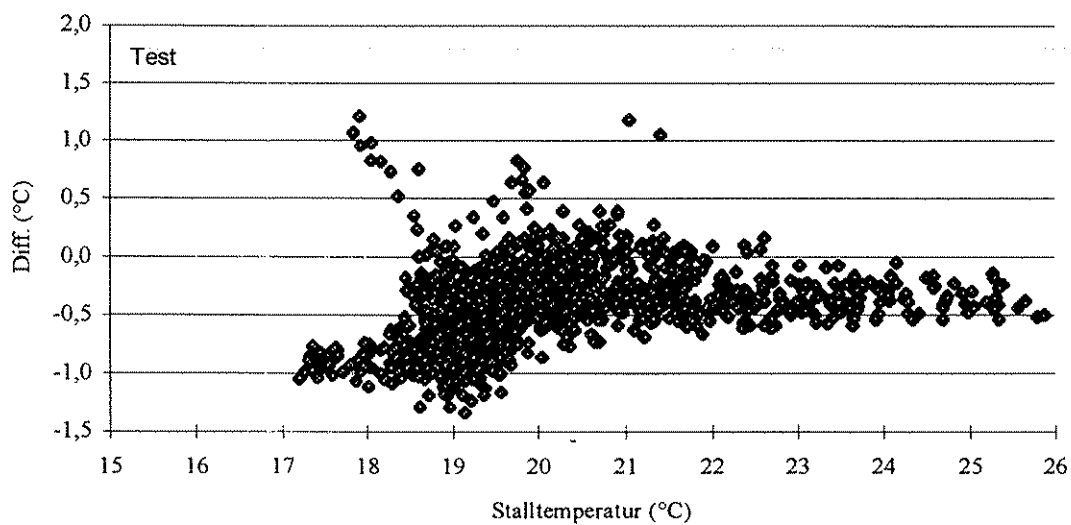


Diagram 7- Differens P7-Stalltemperatur

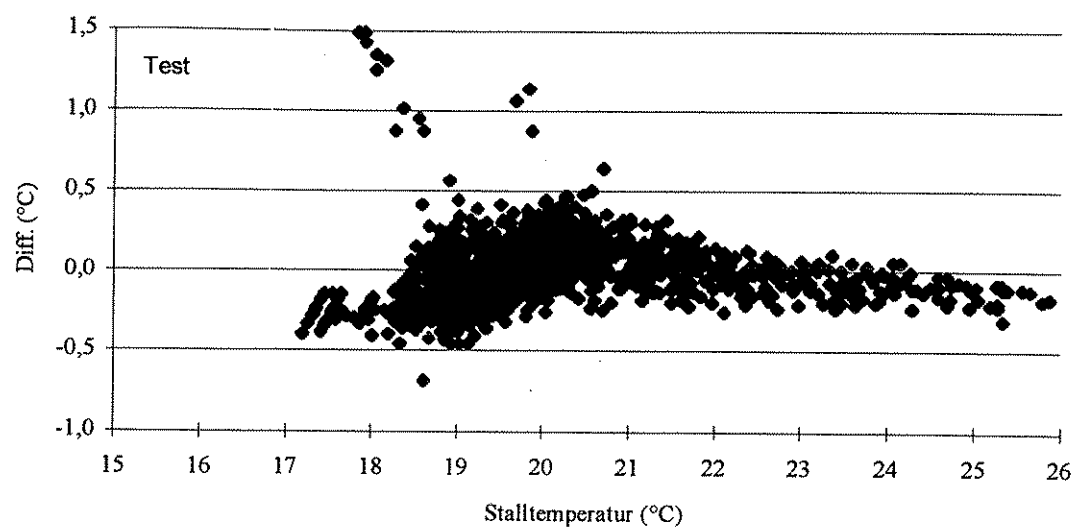
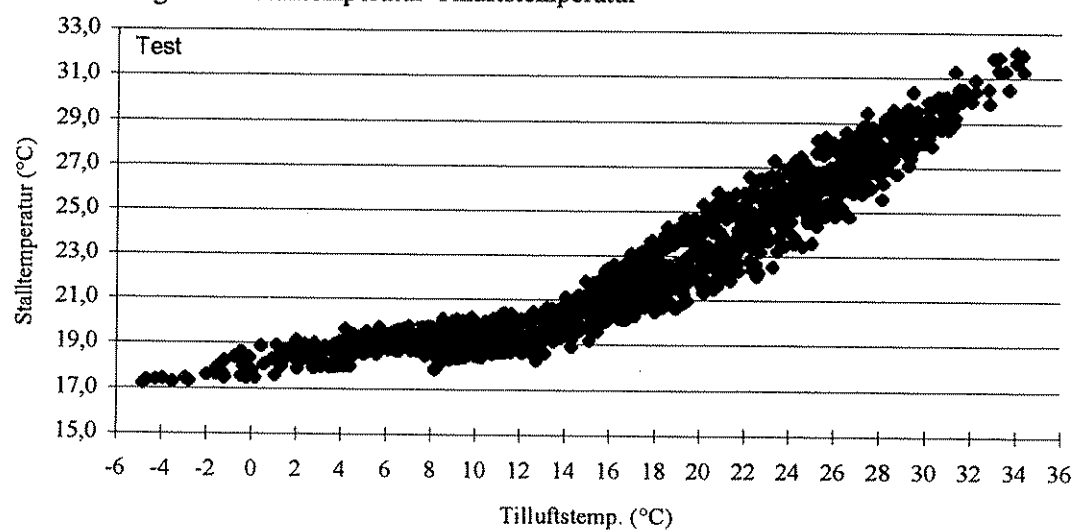
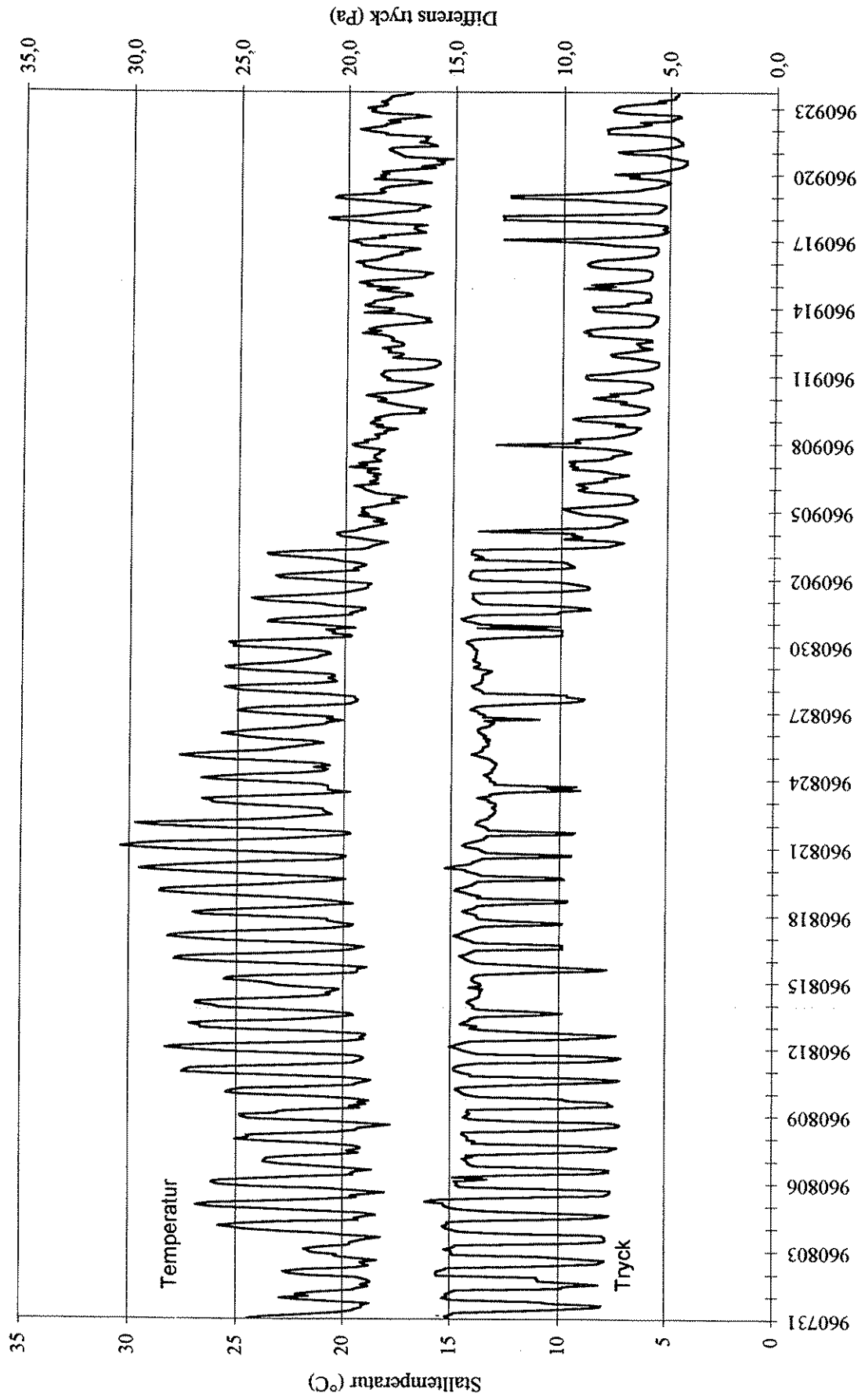


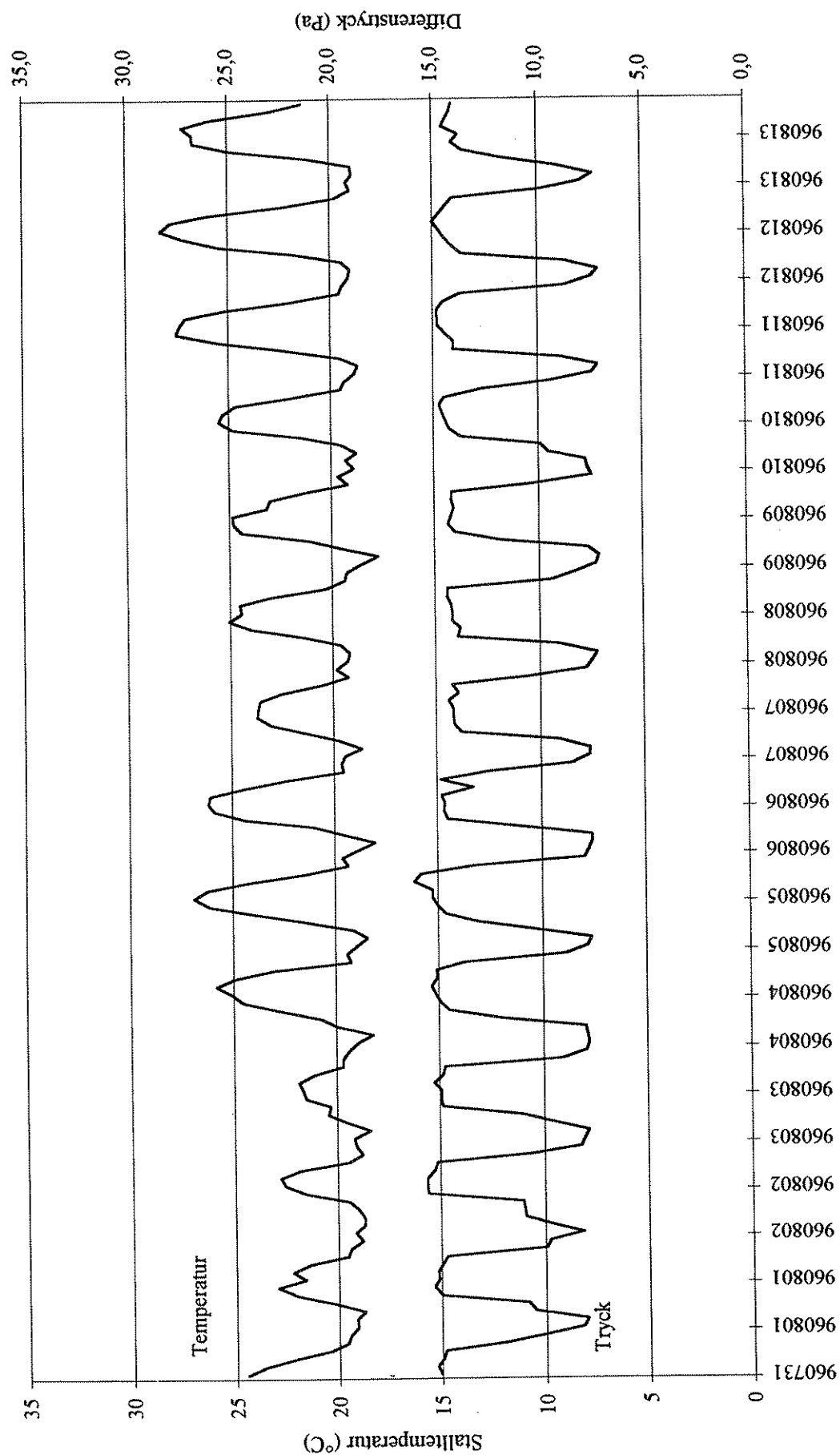
Diagram 8- Stalltemperatur-Tilluftstemperatur



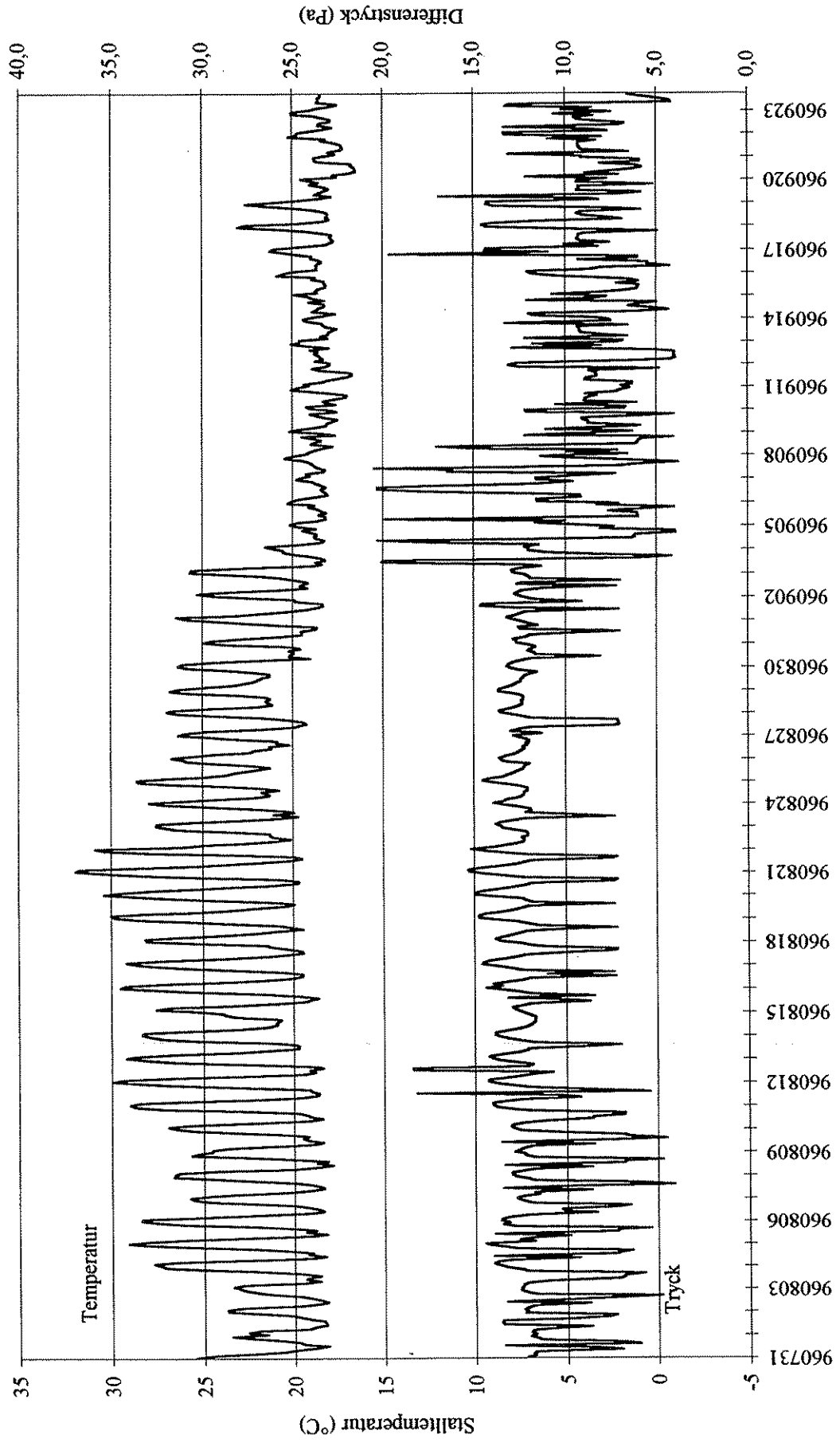
Stalltemperatur och differenstryck för referensavdelningen under mätperioden



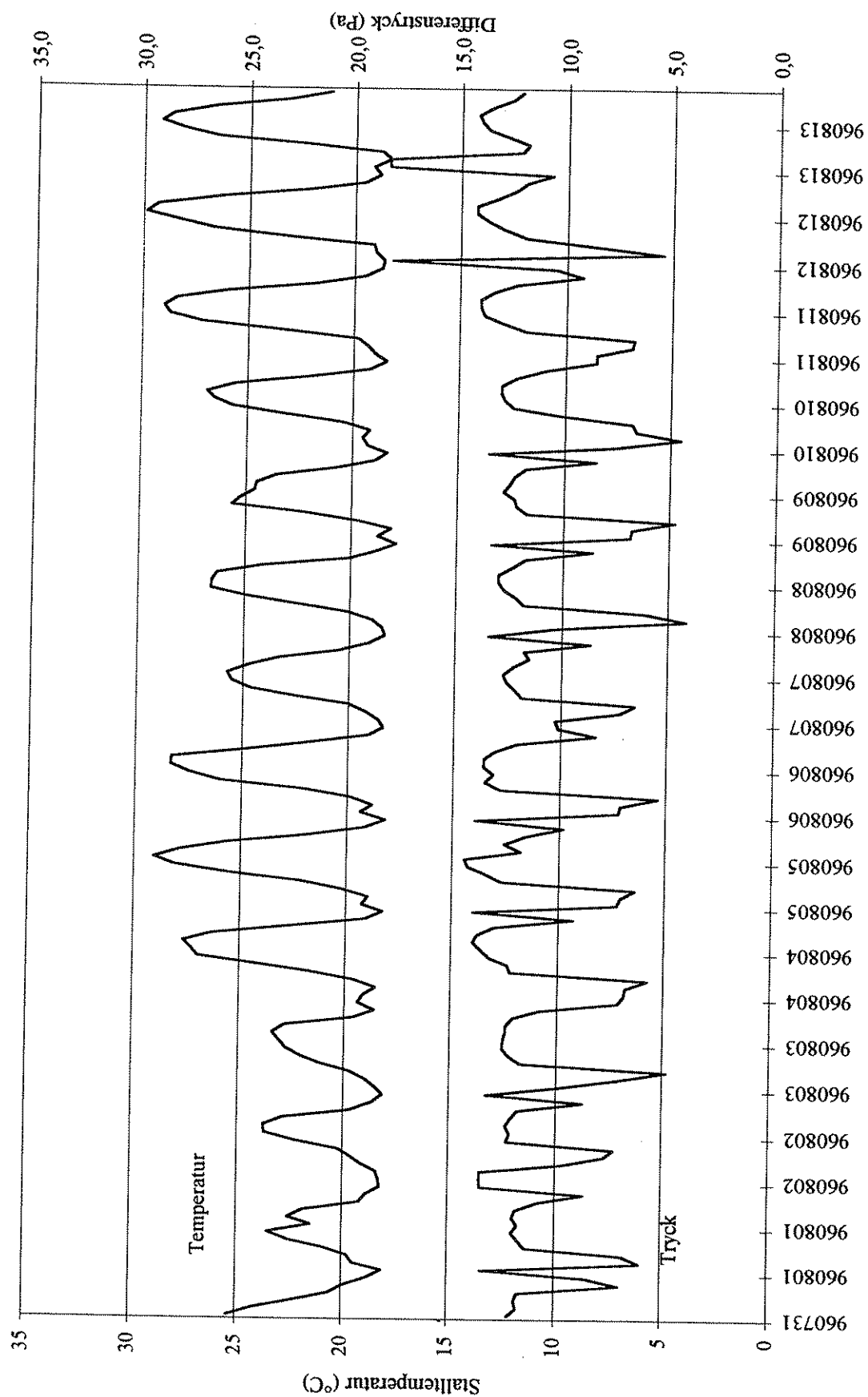
Stalltemperatur och differenstryck för referensavdelningen under 14 dagar



Stalltemperatur och differenstryck för zoomavdelningen under mätperioden



Stalltemperatur och differensstryck för referensavdelningen under 14 dagar



Box nr:

Studie:

Output IMAG program BEZOVA
thermal comfort zone of pigs
V89.4

Floor-type:		concrete (dry)
Difference in temp ceiling/stable:		0,0 °C
Animal-	body weight	80,0 kg
	number/pen	10 ex
	% of time standing	17,0 %
Body-	Surface area (bsa)	1,6 m ² estimated acc to Brody/Bruce
	% bsa in cont other animal	19,1 % in cold environment
	temperature	39,2 °C
Heat production acc to:		Fowler/Close
Minimal tissue resistance:		30,00% of maximal resistance
Air speed at animal level		0,2 m/s
Feed-	energy value	EW: 1,03
		Nev: 9,05 MJ/kg
		EC: 12,93 MJ/kg
	offered	2,93 kg/day
	maint level (offered)	3,09 times maintenance
Drinking water-	intake	6,1 l/day
	temperature	16,6 °C
	estimated heating energy	6,7 W

Critical temperatures (°C)	Distribution of heat losses per animal										
	T _{cr}	T _{Skin}	Radiation		Conv.		Cond.		Latent		Total
			W	%	W	%	W	%	W	%	
LCT (dry)	10,4	27,1	109	47	57	24	33	14	22	9	230
LCT (wet)	21,9	27,6	39	17	24	10	19	8	64	28	230
UCT-1 (min.ev.) dry	23,8	32,7	90	39	53	23	57	24	22	9	230
UCT-1 (min.ev.) wet	30,7	36,0	39	17	22	9	31	13	114	49	230
UCT-2 (dry)	26,8	34,0	74	32	42	18	45	19	60	26	230
UCT-2 (wet)	32,3	36,3	32	14	23	10	25	11	141	0	230

Stable air temp. 25,0 Within therm. neutr. zone

KATA-value at LCT (10,4 °C) = 43,8 mW/cm²

KATA-value at UCT-1 (23,8 °C) = 19,8 mW/cm²

(after Sterrenburg & Ouwerkerk, 1986)

Ekvationerna som används till Missouri modellen över grisars tillväxt under varma förhållanden (efter Christianson *et al* (1982):

Name	Symbol	Units	Description
Wet bulb-dry ^a bulb index	WD	°C	$WD = 0,75T_a + 0,25T_{wb}$
Equivalent dry ^a bulb temperature	T_{ad}	°C	$T_{ad} = 1,0453(WD) - 0,08$
Weight	W	kg	hog weight
Cumulated stress index	CS	kg	time dependent heat stress index representing the net decline in feed consumption from thermo-neutral conditions
Thermoneutral temperature (upper limit of the zone)	TN_u	°C	$TN_u = 34,7 - 0,33W^{0,72}$
Intake factor	k	dim. less	$k = 0,6 - 0,00011W$
Energy intake	A	dim. less	$A = 0,9$
Compensation rate ^b	CR	dim. less	$CR = 0,35[1 - e^{-0,347(CS)/W^{0,3}}] \quad (T_{ad} < TN_u)$ $CR = 0 \quad (T_{ad} > TN_u)$
Maximum energy ^c	M	kJ/3h	$M = (1 + CR)(293,3 + 1115,9W - 8,284W^2)/8 \quad (10 < W < 45);$ $M = (1 + CR)(23188 \text{ arc sinh } (W/22,3))/8 \quad (45 \leq W < 110)$
Maintenance energy ^c	E	kJ/3h	$E = 274(2,2W)^{0,75}/8$
Metabolizable energy intake	Q	kJ/3h	$Q = A(M - (M - E)e^{k(1,8T_{ad} - W/11,36 - 84)}), \quad (T_{ad} < TN_u);$ $Q = A(M - (M - E)e^{k(1,8T_{ad} + 32)1,08 - W/11,36 - 149,6}), \quad (T_{ad} < TN_u)$
Heat loss, S ^{c,d}	S	kJ/3h	$S = (149,8 + 2,04W)(71 - 1,8T_{ad})(1 - e^{-0,45(2,2W - 5,5)})/8$
Heat loss, L ^{c,d}	L	kJ/3h	$L = (7381 - 73,81(2,2W)^{0,96} - 1,054(1,8T_{ad} + 32)^{(1,51 + 0,0022W)})(1 - e^{-0,0726W})/8$
Energy for gain	C	kJ/kg	$C = 4349W^{0,436}$
Weight gain	G	kg/3h	$G = (Q - (S \text{ or } L))/C$
Feed intake	F	kg/dag	$F = Q/\text{feed energy content}$

^a This model can be converted to use dry temperature instead of the wet bulb-dry index by eliminating the equation for the wet bulb-dry index and substituting dry bulb temperature for the equivalent dry bulb temperature.

^b The compensatory rate equation above is for an exponential compensation rate decay and 3-h environmental data. For daily climatic data, the equation becomes:

$$CR = 0,20[1 - e^{-0,0868/S^{0,3}}], \quad T_{ad} < TN$$

^c This listing can be converted to a daily average basis from the 3-h basis by removing the "8" from the denominators of these footnoted equations.

^d Use the larger value of S and L as the hog total heat loss. This heat loss equation form discontinuity is depicted by Kleiber's (1961) energy model; S represents the chemical regulation zone and below, L the thermoneutral zone and above. (Kleiber, M. 1961. The fire of life. Wiley, New York.)

